

ДОКЛАДЫ

АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВЫХОДЯТ ТРИ РАЗА В МЕСЯЦ

Редакционная коллегия: акад. Л. А. Арцимович, акад. А. Г. Бетехтин, акад. С. А. Векштейн, акад. А. Н. Колмогоров (зам. главного редактора), акад. А. Л. Курсанов, акад. С. А. Лебедев, акад. И. Н. Назаров, акад. А. И. Некрасов, акад. А. И. Опарин (главный редактор), акад. Е. Н. Павловский, акад. Л. И. Седов, акад. Н. М. Страхов, акад. А. П. Фрумкин (зам. главного редактора)

24-й ГОД ИЗДАНИЯ

1956

ТОМ 108, № 4

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

МАТЕМАТИКА

- Д. М. Гробман. Асимптотическое поведение решений нелинейных систем, близких к линейным 571
- В. А. Залгаллер. Об основах теории двумерных многообразий ограниченной кривизны 575
- А. А. Зингер и Ю. В. Линник. Об одной теореме теории дифференциальных уравнений и «инвариантных в среднем» статистиках 577
- А. И. Кострикин. О кольцах Ли, удовлетворяющих условию Энгеля 580
- Г. И. Кручкович. О единственности разложения приводимого риманова пространства 583
- С. Мрувка. О полных пространствах близости 587
- А. Селезнев. О функциях, моногенных на нигде не плотных замкнутых множествах и множествах типа F_σ 591

ГИДРОМЕХАНИКА

- В. В. Струминский. Трехмерный пограничный слой на произвольной поверхности 595

АСТРОНОМИЯ

- В. М. Алексеев. Обмен и захват в задаче трех тел 599

ФИЗИКА

- Н. С. Акулов. К теории ферро-, пара- и ферримагнетизма 603
- Я. С. Бобович и В. М. Пивоваров. О влиянии межмолекулярного взаимодействия на интенсивность линий комбинационного рассеяния первого порядка 607
- А. А. Соколов и Б. К. Керимов. О рассеянии бесспиновых частиц с учетом затухания 611
- И. В. Степанов и П. П. Теофилов. О двух типах спектров люминесценции редких земель в искусственных кристаллах флюорита 615
- Е. Л. Фейнберг и Д. С. Чернавский. Высшие приближения в методе самосогласованного поля мезонной теории 619

- Б. М. Граевская и Б. А. Орлов. О ранних изменениях в сыворотке крови, выявляемых методом ультрафиолетовой спектрографии, при общем воздействии рентгеновскими лучами

623

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- Н. Х. Абрикосов и В. Ф. Банкина. Термоэлектрические свойства соединения CrSb_2
Э. И. Адирович и В. Г. Колотилова. К теории переходных процессов в полупроводниковых триодах
В. В. Кандыба и В. А. Ковалевский. Фотоэлектрический спектропирометр высокой точности
Б. Д. Тартаковский. Экспериментальное исследование озвучания открытого пространства распределенной системой говорителей

627

629

633

636

ХИМИЯ

- И. А. Казарновский, С. И. Райхштейн и Л. Н. Быкова. Кинетика самопроизвольного распада озонида калия
В. Е. Плющев, И. Б. Маркина и Л. П. Шкловер. О полиморфизме нитратов рубидия и цезия и их взаимодействии с нитратом бария
Ф. Г. Пономарев. О реакции несимметричных органических α -скисей с ацетоном в присутствии фтористого бора
Л. Н. Эссен и А. Д. Гельман. О получении комплексных соединений четырехвалентной платины с пятью и шестью различными заместителями во внутренней сфере транс- и цис-конфигурации

641

645

648

651

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- М. С. Ашкинази, И. П. Герасимова и Б. Я. Данин. Влияние воды на спектр поглощения и светочувствительность феофорбида железа
И. В. Вейц и Л. В. Гурвич. Энергия диссоциации AlO
В. А. Каргин и Т. И. Соголова. Течение поливинилхлорида под действием больших сил
Е. Руценштейн. Теория непрерывной молекулярной дистилляции в случае достаточно коротких колонн
Н. Д. Томашов и Ю. Н. Михайловский. Механизм электрохимической коррозии металлов в почве
Д. Н. Шигорин, М. М. Шемякин, Л. А. Шукина, М. Н. Колосов и Ф. А. Менделевич. О природе внутримолекулярной водородной связи

655

659

662

665

668

672

БИОХИМИЯ

- М. Г. Бражникова, Н. Н. Ломакина и М. К. Кудинова. О реакции альбумина с железом
Г. А. Деборин. Влияние окисления эргостерина на устойчивость его комплексов с белком

677

680

АГРОХИМИЯ

- А. Ф. Калинин и В. А. Александровская. Превращение веществ в прорастающих клубнях картофеля под влиянием удобрений

683

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- М. Н. Соколова, М. А. Капелюшников и С. Л. Закс. О возможностях извлечения углеводородов из глинистых пород путем растворения в сжатых газах

687

ГЕОЛОГИЯ

- Д. Е. Айзенберг и Н. Е. Бражникова. К вопросу о сопоставлении нижневизейских отложений Донецкого бассейна и некоторых других районов СССР
Н. С. Воронец. О возрасте «ауцеллового горизонта» северной части Ленского бассейна
М. Е. Зубкович. К вопросу о биостратиграфическом расчленении палеоценовых и нижнеоценовых отложений Сталинградского Поволжья
Н. В. Измайлова. О строении террас Днепра в районе водохранилища им. Ленина и о четвертичных колебательных движениях этого района
С. П. Козленко. Классификация структурных поднятий по возрастным признакам

691

695

697

701

704

	<i>Стр.</i>
Г. Ф. Лунгерсгаузен. Периодичность в изменении климата прошлых геологических эпох и некоторые проблемы геохронологии	707
И. А. Шамрай и Е. П. Лазарева. Палеогеновые <i>Coccolithophoridae</i> и их стратиграфическое значение	711

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

С. Г. Каштанов. К вопросу о формировании подземных вод Татарского свода	715
---	-----

МИНЕРАЛОГИЯ

Е. Г. Куковский и И. Д. Седлецкий. Гидрохлорит из коры выветривания амфиболита юга украинского кристаллического массива	719
---	-----

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

А. Г. Эберзин. Об отложениях с <i>Unio sturi</i> М. Hörgnes и его значении для стратиграфии плиоцена Украины и Молдавии	723
Н. Н. Яковлев. Первая находка морской лилии в кембрии СССР	726

ФИЗИОЛОГИЯ

О. В. Волкова. О двигательной иннервации языка и природе так называемого псевдомоторного феномена	729
С. П. Семенов. О чувствительной иннервации миокарда желудочков у кошки	732

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

В. Г. Гриф. О возможности деления клеток у растений при отрицательных температурах	734
Я. С. Нестеров. Период покоя плодовых культур	738

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОРФОЛОГИЯ

Н. Н. Дампель. Регенерация скелетной мышечной ткани у амфибий (лягушки) в условиях инфицированной раны	742
--	-----

ФИЗИОЛОГИЯ

Э. П. Кокорина. Особенности рефлекса молокоотдачи у коров с различной подвижностью и уравновешенностью корковых нервных процессов	746
Н. А. Моисеева. К характеристике интероцептивных рефлексов в онтогенезе	750
Ю. М. Оленов и М. Г. Закс. О роли условно-рефлекторных стимулов в акте молокоотдачи у коров	754

CONTENTS

MATHEMATICS *Pages*

D. M. Grobman. Asymptotic Behavior of the Solutions of Nonlinear Systems Close to Linear Ones	571
V. A. Zalgaller. On the Principles of the Theory of Two-Dimensional Manifolds of Bounded Curvature	575
A. A. Zinger and Ju. V. Linnik. On a Theorem in the Theory of Differential Equations and Statistics Said to be Invariant in the Mean	577
A. I. Kostrikin. On Lie Rings Satisfying the Engel Condition	580
G. I. Kruchkovich. On the Uniqueness of the Decomposition of a Reducible Riemannian Space	583
S. Mrovka. On Complete Proximity-Spaces	587
A. Seleznev. On the Functions Monogenic on Closed Sets and Sets of Type F_σ	591

FLUID MECHANICS

V. V. Struminsky. A Three-Dimensional Boundary Layer on an Arbitrary Surface	595
--	-----

ASTRONOMY

V. M. Alexeiev. Exchange and Capture in the Three Body Problem	599
--	-----

PHYSICS

Pages

- N. S. Akulov. To the Theory of Ferro-, Para- and Ferrimagnetism 603
- J. S. Bobovich and V. M. Pivovarov. The Influence of Intermolecular Interaction on the Intensity of First Order Raman Lines 607
- A. A. Sokolov and B. K. Kerimov. On the Scattering of Spinless Particles with Consideration of Damping. 611
- I. V. Stepanov and P. P. Feofilov. On Two Types of Rare Earths Luminescence Spectra in Artificial Fluorite Crystals 615
- E. L. Feinberg and D. S. Chernavsky. Higher Approximations in the Self-Consistent Field Method of the Meson Theory 619

BIOPHYSICS

- B. M. Graevskaya and B. A. Orlov. On Early Modifications in the Blood Serum under the Action of X-Rays, as Determined by Ultraviolet Spectrography 623

TECHNICAL PHYSICS

- N. Kh. Abrikosov and V. F. Bankina. The Thermoelectric Properties of CrSb_2 627
- E. I. Adirovich and V. G. Kolotilova. On the Theory of Transient Processes in Semiconductor Triodes 629
- V. V. Kandyba and V. A. Kovalevsky. A Photoelectric Spectropyrometer of High Precision 633
- B. D. Tartakovsky. Experimental Study of an Open Air Public Address System with Evenly Distributed Sound Sources 636

CHEMISTRY

- I. A. Kasarnovsky, S. I. Raichstein and L. N. Bykova. Kinetics of Spontaneous Decomposition of Potassium Ozonide 641
- V. E. Plushchev, I. B. Markina and L. P. Shklover. On the Polymorphism of Rubidium Nitrate and Cesium Nitrate and on their Interaction with Barium Nitrate 645
- F. G. Ponomarev. On the Reaction of Unsymmetric Organic α -Oxides with Acetone in the Presence of Boron Fluoride 648
- L. N. Essen and A. D. Helman. On the Production of Quadrivalent Platinum Compounds with Five and Six Different Substituents in the Inner Sphere of the Trans- and Cis-Configuration 651

PHYSICAL CHEMISTRY

- M. S. Ashkinazi, I. P. Gerasimova and B. J. Dain. The Influence of Water on the Absorption Spectrum and Photosensitivity of Iron Pheophorbide 655
- I. V. Veits and L. V. Gurvich. The Dissociation Energy of AlO 659
- V. A. Kargin and T. I. Sogolova. On the Plastic Flow of Polyvinylchloride under the Action of Large Forces 662
- E. Ruckenstein. The Theory of Continuous Molecular Distillation in the Case of Sufficiently Short Columns 665
- N. D. Tomashov and J. N. Mikhailovsky. The Mechanism of the Electrochemical Corrosion of Metals in the Soil 668
- D. N. Shigorin, M. M. Shemiakin, L. A. Shchukina, M. N. Kolosov and F. A. Mendelevich. On the Nature of the Intramolecular Hydrogen Bond 672

BIOCHEMISTRY

- M. G. Brazhnikova, N. N. Lomakina and M. K. Kudinova. The Reaction of Albomycin with Iron 677
- G. A. Deborin. The Effect of Ergosterin Oxidation upon the Stability of Its Protein Complexes 680

AGRICULTURAL CHEMISTRY

- A. F. Kalinkevich and V. A. Alexandrovskaya. Transformation of Substances in Germinating Potato Tubers Taking Place under the Influence of Fertilizers 683

CHEMICAL TECHNOLOGY

- M. N. Sokolova, M. A. Kapelushnikov and S. L. Zax. On the Possibilities of Carbohydrates Recovery from Clay Rocks by Solution in Compressed Gases 687

D. E. Aisenverg and N. E. Brazhnikova. A Contribution to the Comparative Investigation of the Lower-Viséan Series of the Donetz Basin and of Some other Regions of the USSR	691
N. S. Voronetz. About the Age of the «Aucella-Horizon» of the Northern Part of the Lena Basin	695
M. E. Zubkovich. To the Problem of Biostratigraphical Subdivision of Paleocene and Lower Eocene Deposits of the Volga within its Stalingrad Reach	697
N. V. Izmailova. On the Structure of the Dnieper Terraces within the Region of the Lenin Water Reservoir, and on the Quaternary Undulatory Motions Occurring within this Region	701
S. P. Kozlenko. A Classification of Structural Upheavals According to their Age Characters	704
G. F. Lungershausen. The Periodicity Observed in Climate Variations of Past Geologic Epochs, and Some Problems of Geochronology	707
I. A. Shamray and E. P. Lazareva. Palaeogenic Coccolithophoridae and their Stratigraphic Importance	711

HYDROGEOLOGY

S. G. Kashtanov. On the Problem of the Formation of Underground Waters of the Tatarian Vault	715
--	-----

MINERALOGY

E. G. Kukovsky and I. D. Sedletzky. Hydrochloride from the Weathering Crust of Amphibolite in the Southern Part of the Ukrainian Crystalline Massif	719
---	-----

PALAEONTOLOGY

A. G. Eberzin. Deposits Containing <i>Unio sturi</i> M. Hörnes and its Importance for the Stratigraphy of the Pliocene of the Ukrainian and Moldavian SSR	723
N. N. Yakovlev. The First Finding of a Sea-lily in the Cambrian of the USSR	726

HISTOLOGY

O. V. Volkova. On the Motor Innervation of the Tongue and the Nature of the So-called Pseudo-Motor Phenomenon	729
S. P. Semenov. On the Sensory Innervation of the Myocardium Ventricles in the Cat	732

PLANT PHYSIOLOGY

V. G. Grif. On the Possibility of Cell-division in Plants at Minus Temperatures	734
J. S. Nesterov. The Rest Period in Fruit-trees	738

EXPERIMENTAL MORPHOLOGY

N. N. Dampel. The Regeneration of Skeletal Muscular Tissue in Amphibians (the Frog) under Conditions of Wound Infection	742
---	-----

PHYSIOLOGY

E. P. Kokorina. Some Distinctive Features of the Lactation Reflex in Cows Showing Different Mobility and Equilibrium of their Cortical Nerve Processes	746
N. A. Moisseyeva. Contribution to the Study of Interoceptive Reflexes During Ontogenesis	750
J. M. Olenov and M. G. Zax. On the Role of Conditioned-reflectory Stimuli in Milk Excretion by Cows	754

ПОПРАВКА

В статье Л. Н. Слободецкого и В. М. Бабича „Об ограниченности интеграла Дирихле“, помещенной в ДАН, т. 106, № 4, 1956 г., на стр. 604, второй абзац следует читать: „Найденные ими с одной стороны необходимые и с другой стороны достаточные условия, хотя и близки, в некотором смысле, друг другу, но все же различны“.

Д. М. ГРОБМАН

АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ РЕШЕНИЙ НЕЛИНЕЙНЫХ
СИСТЕМ, БЛИЗКИХ К ЛИНЕЙНЫМ

(Представлено академиком И. Г. Петровским 25 I 1956)

Пусть даны уравнения

$$\frac{dx}{dt} = Ax + f(t, x), \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = Ay, \quad (2)$$

где A — постоянная матрица порядка n ; x, y и $f(t, x)$ — n -мерные векторы; $f(t, x)$ непрерывен для $t \geq t_0$ и x , принадлежащих некоторой области G , которая может совпадать со всем пространством R^n .

В области G $f(t, x)$ удовлетворяет условиям:

$$f(t, 0) = 0, \quad (3)$$

$$|f(t, x') - f(t, x'')| \leq g|x' - x''|, \quad (4)$$

где g зависит или от t или от точек x' и x'' ($|x|$ означает норму вектора x).

Пусть $\omega_1 < \omega_2 < \dots < \omega_s$ — все различные действительные части собственных значений матрицы A , $1 \leq s \leq n$.

Обозначим, соответственно, через $E_k(x)$ и $E_k(y)$ множества решений уравнений (1) и (2) с показателями ω_k . Множества тех $x \in E_k(x)$ и тех $y \in E_k(y)$, для которых выполняются неравенства $|x| = O(e^{\omega_k t})$, $|y| = O(e^{\omega_k t})$ при $t \rightarrow \infty$, будем обозначать через $E_k^l(x)$ и $E_k^l(y)$ ($l \geq 0$ — целое число). Под $E_k^l[x(t^*)]$ и $E_k^l[y(t^*)]$ будем понимать множества точек, через которые в момент $t = t^*$ проходят решения из $E_k^l(x)$ и $E_k^l(y)$ ($t^* \geq t_0$).

Определение 1. Решения $x(t)$ и $y(t)$ из $E_k(x)$ и $E_k(y)$ назовем геометрически сходными, если $\frac{|x(t)|}{|y(t)|} \rightarrow 1$ при $t \rightarrow \infty$, разности между направляющими косинусами $x(t)$ и $y(t)$ стремятся к нулю при $t \rightarrow \infty$ и $|x(t) - y(t)| = o(e^{\omega_k t})$ при $t \rightarrow \infty$. (В случае постоянной матрицы A из последнего требования вытекают два первых.)

Определение 2. Отношение $\frac{|x(t) - y(t)|}{|y(t)|}$ будем называть отклонением x от y , или просто отклонением.

Определение 3. Скажем, что уравнения (1) и (2) геометрически сходны по $(\omega_k; l)$, если для любого $t^* \geq t_0$ между $E_k^l[x(t^*)]$ и $E_k^l[y(t^*)]$ можно установить гомеоморфизм такой, что решения $x(t)$ и $y(t)$, проходящие в момент $t = t^*$ через соответствующие точки, будут геометрически сходными.

Аналогично определяется геометрическое сходство уравнений (1) и (2) по показателю ω_k .

I. Пусть область G совпадает со всем пространством R^n и $g = g(t)$.

Теорема 1. Если $\int_{t_0}^{\infty} t^{m_k+1+\beta} g(t) dt < +\infty$, где β — произвольное неотрицательное число; $m_k + 1$ — наивысшая степень тех элементарных делителей матрицы A , которые соответствуют собственным значениям с действительными частями ω_k ; $l \geq 0$ — целое число, не превосходящее m_k , то уравнения (1) и (2) геометрически сходны по $(\omega_k; l)$ и отклонение сходных решений из $E_k^l(x)$ и $E_k^l(y)$ есть $o(t^{-(l+\beta)})$, когда $t \rightarrow \infty$.

Теорема 1 обобщает теорему автора (1). Результаты Хилла, относящиеся к линейным уравнениям второго порядка, показывают, что оценка отклонений, данная в теореме 1, точна (2).

II. Предположим, что G есть окрестность начала координат и $g = g(r)$, где r — радиус окрестности, в которой находятся обе точки, фигурирующие в условии (4).

Определение 4. Уравнения (1) и (2) назовем геометрически сходными в малом по $(\omega_k; l)$, если: а) для любого $t^* \geq t_0$ между множеством $E_k^l[x(t^*)]$ и некоторой частью $E_k^l[y(t^*)]$ можно установить взаимно-однозначное соответствие $\Phi_k^l(t^*)$ такое, что через соответствующие точки в момент $t = t^*$ проходят геометрически сходные решения x и y ; б) существует не зависящая от t^* окрестность S_0 начала координат такая, что множество тех точек из $E_k^l[x(t^*)]$, через которые в момент $t = t^*$ проходят решения, не покидающие S_0 при $t \geq t^*$, соответствием $\Phi_k^l(t^*)$ отображается на часть $E_k^l[y(t^*)]$, содержащую все точки из $E_k^l[y(t^*)]$ с достаточно малыми нормами, гомеоморфно; в) размерности множеств $E_k^l[x(t^*)]$ и $E_k^l[y(t^*)]$ одинаковы.

Теорема 2. Если $\omega_k < 0$, $r_0 < 1$ и для всех $r \leq r_0$ $g(r) \leq \frac{L}{|\ln r|^{m_k+1+\varepsilon+\beta}}$, где $\beta \geq 0$ произвольно; L и ε — какие-нибудь положительные числа, то уравнения (1) и (2) геометрически сходны в малом по $(\omega_k; l)$ и отклонение сходных решений из $E_k^l(x)$ и $E_k^l(y)$ есть $o(t^{-(l+\beta)})$ при $t \rightarrow \infty$.

Теорема 3. Если для всех $r \leq r_0$ ($r_0 > 0$ — любое число) $g(r) < Lr^\alpha$, где L и α — какие-то положительные числа, то уравнения (1) и (2) геометрически сходны в малом по всем отрицательным показателям; отклонение сходных решений из $E_k(x)$ и $E_k(y)$ ($\omega_k < 0$) есть $o(e^{(\alpha\omega_k+\varepsilon)t})$ при $t \rightarrow \infty$ ($\varepsilon > 0$ как угодно мало).

Теорема 2 обобщает теорему автора (1). Теорема 3 уточняет результаты ряда авторов в том случае, когда матрица A имеет кратные собственные значения с отрицательными действительными частями (3-5).

III. Будем считать теперь область G окрестностью бесконечно удаленной точки. Вектор $f(t, x)$ пусть удовлетворяет вместо условия (3) неравенству $|f(t, x)| \leq g|x|$.

Определение 5. Уравнения (1) и (2) называются почти сходными по $(\omega_k; l)$ в окрестности бесконечно удаленной точки, если: а) при любом $t^* \geq t_0$ множество $E_k^l[x(t^*)]$ не пусто; б) для всякого x из $E_k^l(x)$ существует $y \in E_k^l(y)$, геометрически сходный с ним; в) для любого неограниченного $y \in E_k^l(y)$, а также для любого ограниченного $y \in E_k^l(y)$ с достаточно большой нормой найдется x , сходный с y .

Теорема 4. Если $\omega_k \geq 0$, $\beta \geq 0$ и $\int_{t_0}^{\infty} t^{m_k+1+\beta} g(t) dt < +\infty$, то уравнения (1) и (2) почти сходны по $(\omega_k; l)$ в окрестности бесконечно удаленной точки и отклонение сходных решений из $E_k^l(x)$ и $E_k^l(y)$ есть $o(t^{-(l+\beta)})$ при $t \rightarrow \infty$.

Пусть $g = g(\rho)$, где $\rho = \min(|x'|, |x''|)$ (см. условие (4)).

Теорема 5. Если $\omega_k > 0$ и для $\rho \geq \rho_0 > 1$

$$g(\rho) < \frac{L}{(\ln \rho)^{m_k + l + 1 + \varepsilon + \beta}},$$

где $\beta \geq 0$, L и ε — какие-нибудь положительные числа, то уравнения (1) (2) почти сходны по $(\omega_k; l)$ в окрестности бесконечно удаленной точки; отклонение сходных решений из $E_k^l(x)$ и $E_k^l(y)$ есть $o(t^{-(l+\beta)})$ при $t \rightarrow \infty$.

Теорема 6. Если для всех $\rho \geq \rho_0 > 0$ $g(\rho) < L\rho^{-\alpha}$, где L и α положительные, то уравнения (1) и (2) почти сходны по всем положительным показателям; отклонение сходных решений из $E_k(x)$ и $E_k(y)$ есть $(e^{(-\alpha\omega_k + \varepsilon)t})$ при $t \rightarrow \infty$ ($\varepsilon > 0$ произвольно мало).

IV. Пусть область G попрежнему совпадает со всем пространством \mathbb{R}^n и вектор $f(t, x)$ определен и непрерывен для всех $t \in (-\infty, \infty)$ и любых x .

Определение 6. Минус-показателем решения $x(t)$ назовем число

$$\gamma = \overline{\lim}_{t \rightarrow -\infty} -\frac{1}{t} \ln |x(t)|.$$

Теорема 7. Если $|f(t, x)| \leq g|x|$ и $g > 0$ достаточно мало, то показатели и минус-показатели уравнения (1) расположены вблизи показателей и минус-показателей уравнения (2); минус-показатель γ всякого решения x связан с его показателем λ соотношением $\gamma + \lambda + \varepsilon \geq 0$, где $\varepsilon > 0$ тем меньше, чем меньше g , и $\varepsilon = 0$, если $g = g(r) \rightarrow 0$ при $r \rightarrow 0$ и при $r \rightarrow \infty$.

Отсюда следует, что если матрица A не имеет собственных значений с нулевой действительной частью, то всякое решение уравнения (1), входящее в начало координат одним концом, другим концом уходит в бесконечность. Если $g = g(r)$ мало лишь в окрестности начала координат, то в этой окрестности нет решений, входящих в начало двумя концами.

Определение 7. Если для решения x уравнения (1) можно найти решение y уравнения (2), геометрически сходное с x как при $t \rightarrow \infty$, так и при $t \rightarrow -\infty$, то x назовем нормальным решением.

Обозначим через $\bar{E}_k(x)$ и $\bar{E}_k(y)$ множества решений уравнений (1) и (2), минус-показатели которых равны $-\omega_k$.

Теорема 8. Пусть вектор $f(t, x)$ таков, что всякое решение из $E_s(x)$ сходно с некоторым решением из $E_s(y)$ и всякое решение из $\bar{E}_1(x)$ сходно с некоторым решением из $\bar{E}_1(y)$. Пусть, кроме того, размерности множеств $E_k(x)$ и $E_k(y)$, а также $\bar{E}_k(x)$ и $\bar{E}_k(y)$ одинаковы. Тогда из условия $\omega_1 < \omega_s$ следует, что почти все решения уравнения (1) (т. е. все решения за исключением, быть может, множества меньшей, чем n , размерности) нормальны.

Если, помимо этого, всякое решение x уравнения (1) сходно при $t \rightarrow \infty$ с некоторым решением y^+ уравнения (2), а при $t \rightarrow -\infty$ сходно с решением y^- уравнения (2) и минус-показатель всякого решения уравнения (1) не меньше его характеристического показателя, взятого с обратным знаком, то аномальными могут быть только такие решения уравнения (1), у которых минус-показатели равны их показателям с обратным знаком.

Комбинируя подходящим образом условия предыдущих теорем, мы сможем вывести из теоремы 8 ряд критериев нормальности почти всех решений уравнения (1).

Для этого достаточно, например, потребовать, чтобы $\int_{-\infty}^{+\infty} |t|^{2m} g(t) dt < +\infty$, где $m+1$ — порядок максимального ящика матрицы A , или чтобы $g(r) \rightarrow 0$ при $r \rightarrow 0$ и при $r \rightarrow \infty$ с логарифмической или степенной скоростями. В каждом из этих случаев прежние теоремы дают оценки отклонений при $t \rightarrow \infty$ и при $t \rightarrow -\infty$.

Автор выражает признательность В. В. Немыцкому, под руководством которого выполнена эта работа.

Поступило
19 I 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. М. Гробман, ДАН, 86, № 1 (1952). ² E. Hille, TAMS, 64, 2, 234 (1948).
³ O. Perron, Math. Zs., 15, 121 (1922). ⁴ И. Г. Петровский, Матем. сборн., 41, в. 1, 48 (1934). ⁵ J. Haag, Bull. de Sci. Math., 74, 167 (1950).

В. А. ЗАЛГАЛЛЕР

ОБ ОСНОВАХ ТЕОРИИ ДВУМЕРНЫХ МНОГООБРАЗИЙ ОГРАНИЧЕННОЙ КРИВИЗНЫ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 6 II 1956)

В работе ⁽¹⁾ А. Д. Александров формулировал основные положения теории двумерных многообразий ограниченной кривизны *. Речь идет о метрических пространствах R , причем предполагается, что по топологической структуре R есть двумерное многообразие, а его метрика — внутренняя. После введения понятий кратчайшей, треугольника, верхнего угла $\bar{\alpha}$ между кратчайшими, избытка треугольника $\bar{\delta}(T) = \bar{\alpha} + \bar{\beta} + \bar{\gamma} - \pi$ налагается следующее условие ограниченности кривизны: для всякой компактной области G (т. е. области с компактным замыканием) существует такое число $\nu(G)$, что для любой конечной системы неперекрывающихся треугольников $T_i \subset G$
$$\sum_i |\bar{\delta}(T_i)| \leq \nu(G).$$

Из этих условий выводится, что внутренняя метрика ρ_G , индуцируемая выделением компактной области G из R , допускает равномерное приближение многогранными метриками ρ_n , абсолютные кривизны которых ограничены в совокупности. И обратно, если метрика ρ двумерного многообразия в пределах каждой компактной области допускает равномерное приближение многогранными метриками с равномерно ограниченными абсолютными кривизнами, то она удовлетворяет условию ограниченности кривизны.

Целью настоящей заметки являются следующие усиления этих двух утверждений.

Теорема 1. Если в двумерном многообразии R с внутренней метрикой ρ у каждой точки существует такая окрестность G , что для любой конечной системы неперекрывающихся гомеоморфных кругу выпуклых треугольников $T_i \subset G$
$$\sum_i \bar{\delta}(T_i) \leq \nu_1(G),$$
 то каждая компактная область

$G' \subset R$ может быть заключена в многоугольник P , в пределах которого метрика ρ_P допускает равномерное приближение многогранными метриками ρ_n , абсолютные кривизны которых ограничены в совокупности.

Здесь априори предполагается ограниченность только положительных избытков треугольников, притом только для систем наиболее простых, гомеоморфных кругу выпуклых треугольников, и это требование налагается локально, а не для любой компактной области. Доказательство теоремы 1 отличается от доказательства соответствующего утверждения ⁽¹⁾ в следующих моментах. Существование угла между кратчайшими устанавливается на основе доказанного А. Д. Александровым нового достаточного признака, который опирается только на суммарную ограничен-

* Результаты заметки ⁽¹⁾, на определения которой мы опираемся, несколько подробнее изложены в ⁽²⁾. Понятие неперекрывающихся треугольников уточнено в ⁽³⁾.

ность положительных избытков некоторых треугольников. Существование у каждой точки произвольно малой окрестности в виде многоугольника со сколь угодно малым периметром выводится из ограниченности лишь положительных избытков треугольников. Используется специального вида триангуляция, построенная так, чтобы каждая из ее вершин находилась в точке, через которую проходят кратчайшие. Это исключает разбиение окрестности вершины на выпуклые секторы с суммой углов $< 2\pi$, что облегчает проведение односторонних оценок.

Теорема 2. Пусть в двумерном многообразии R с внутренней метрикой ρ у каждой точки есть такая окрестность G , что существует последовательность многогранных метрик ρ_n , каждая из которых задана в некоторой области $R_n \supset G$, причем в пределах области G метрики ρ_n равномерно сходятся к ρ и положительные кривизны метрик ρ_n ограничены в совокупности $\omega_n^+(G) \leq \nu_2(G)$. Тогда в каждой компактной области $G' \subset R$ для любой конечной системы неперекрывающихся треугольников $T_i \subset G'$
$$\sum_i |\tilde{\delta}(T_i)| \leq \nu_3(G').$$

Здесь предполагается возможность лишь локального приближения ρ многогранными метриками ρ_n , и притом метриками, у которых равномерно ограничены только положительные кривизны. Для доказательства теоремы 2 потребовалось изменить доказательство существования угла между кратчайшими в предельной метрике. Для получения триангуляции использовалась возможность разбивать окрестность особых точек на выпуклые секторы. В окрестности особой точки O , полный угол сектора вокруг которой равен нулю, такое разбиение может оказаться невозможным. Но точку O можно окружить двуугольником D , который лежит вблизи O и имеет периметр, малый по сравнению с расстоянием от O до границы D . Это позволяет проводить необходимые оценки для углов невыпуклых треугольников, имеющих вершины в особых точках. Доказываемая затем возможность окружить каждую точку в метриках ρ_n многоугольниками с равномерно ограниченным числом сторон позволяет при помощи теоремы Эйлера убедиться в том, что в некоторой окрестности каждой точки равномерно ограничены и отрицательные кривизны метрик ρ_n .

Для так называемых приведенных треугольников можно в каждой вершине различать сектор со стороны треугольника и рассматривать избытки $\tilde{\delta}(T)$, вычисленные по углам этих секторов.

Теорема 3. В условиях теоремы 2 для систем неперекрывающихся приведенных треугольников $T_i \subset G'$

$$-\lim_{n \rightarrow \infty} \omega_n^-(G') \leq \sum_i \tilde{\delta}(T_i) \leq \lim_{n \rightarrow \infty} \omega_n^+(G'),$$

где ω_n^+ , ω_n^- — положительная и отрицательная части кривизны метрики ρ_n .

Как и в (1), вместо многогранных метрик ρ_n можно рассматривать римановы метрики.

Ленинградское отделение
Математического института им. В. А. Стеклова
Академии наук СССР

Поступило
3 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Д. Александров, ДАН, 60, № 9 (1948). ² A. D. Aleksandrow, Die innere Geometrie der konvexen Flächen, Berlin, 1955. ³ А. Д. Александров, ДАН, 63, № 4 (1948).

А. А. ЗИНГЕР и член-корреспондент АН СССР Ю. В. ЛИННИК

ОБ ОДНОЙ ТЕОРЕМЕ ТЕОРИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ И «ИНВАРИАНТНЫХ В СРЕДНЕМ» СТАТИСТИКАХ

1. Рассмотрим дифференциальное уравнение

$$\sum_{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n \leq k; \alpha_i \geq 0} A_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n} f^{(\alpha_1)}(t) f^{(\alpha_2)}(t) \dots f^{(\alpha_n)}(t) = C f^{(n)}(t). \quad (1)$$

К уравнениям такого типа сводятся вообще дифференциальные уравнения вида

$$Q(y, y', \dots, y^{(s)}) = 0, \quad (2)$$

где Q — некоторый полином с постоянными коэффициентами.

Каждому уравнению (1) сопоставим многочлен от n переменных следующим образом: в левую часть (1) вместо $f^{(\alpha_j)}(t)$ подставим $x_j^{\alpha_j}$.

Такое соответствие не является однозначным. Например, уравнению $f(t) f''(t) - f'^2(t) = f^2(t)$ можно сопоставить два полинома: $x_1^2 - x_1 x_2$, $1/2(x_1^2 - 2x_1 x_2 + x_2^2)$. Для устранения такой неоднозначности достаточно симметризовать какой-нибудь полином, соответствующий уравнению (1).

Определение. Полином $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ степени k , определяемый по уравнению (1) следующим образом:

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{1}{n!} \sum_{(j_1, j_2, \dots, j_n)} \sum_{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n \leq k} A_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n} x_{j_1}^{\alpha_1} x_{j_2}^{\alpha_2} \dots x_{j_n}^{\alpha_n}, \quad (3)$$

будем называть полиномом, порожденным уравнением (1)*.

Определение. Уравнение (1) назовем положительно-определенным, если порожденный им полином неотрицателен.

В приведенном примере уравнение оказывается положительно-определенным, так как порожденный им полином $1/2(x_1^2 - 2x_1 x_2 + x_2^2) = 1/2(x_1 - x_2)^2$ неотрицателен.

Для положительно-определенных уравнений имеет место теорема:

Теорема 1. Пусть дано положительно-определенное уравнение (1), $k \geq n$. Если существует положительно-определенная функция $f(t)$, являющаяся решением (1) в некоторой окрестности нуля, то это решение продолжимо на комплексную плоскость и является целой функцией комплексного аргумента.

2. Сформулированная теорема может быть использована для решения задачи об инвариантности в среднем статистик.

Определение. Статистику P будем называть «инвариантной в среднем» по отношению к статистике T , если условное математическое ожидание P при любом выбранном значении T не зависит от этого значения T и равно безусловному математическому ожиданию P .

* Считаем, что равенство $\alpha_1 + \dots + \alpha_n = k$ достигается.

Входящие в определение математические ожидания предполагаются существующими. Применяя символ математического ожидания E , условие «инвариантности» можно записать так:

$$E(P | T = a) = E(P) \quad (4)$$

для всех a , $-\infty < a < +\infty$.

Очевидно, при условии существования математических ожиданий в (4) «инвариантность» статистики P по отношению к T представляет собой необходимое условие для независимости статистик P и T .

Впервые это обстоятельство отмечается в работах ^(2,3), где авторы применили его для характеристики нормального распределения в некоторых частных случаях.

Пусть $\xi = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ — n -мерный вектор с независимыми одинаково распределенными по закону $F(x)$ компонентами.

Будем рассматривать статистики $P(\xi)$, являющиеся неотрицательными полиномами степени $k \geq n$, зависящие только от разностей $x_i - x_j$, где $i, j = 1, 2, \dots, n$. Кроме этого будем рассматривать статистики $P(\xi)$ неособенные в смысле определения, данного в ⁽¹⁾. Напомним что определение.

Определение. Пусть $P_0(\xi)$ — однородный многочлен старшей степени, входящей в $P(\xi)$. В этом полиноме заменим каждый множитель $x_j^{\alpha_j}$ его одночленов на произведение $m(m-1)\dots(m-\alpha_j+1)$ так, что из $P_0(\xi)$ получится полином $\pi_0(m)$. Если для всех целых чисел $m > 0$ имеет место соотношение $\pi_0(m) \neq 0$, то полином $P(\xi)$ называется неособенным.

Теорема 2. Пусть определенная выше статистика $P(\xi)$ «инвариантна» по отношению к статистике $T = x_1 + x_2 + \dots + x_n$. Тогда для всех $j = 1, 2, \dots, n$ существует

$$E(\exp(sx)) < \infty$$

при всех реальных s .

Если, кроме того, $P(\xi)$ неособенна и

$$E(\exp(sx)) = O(\exp \exp |s|^A); \quad (5)$$

то случайные компоненты вектора ξ распределены по нормальному закону.

3. Легко видеть, что первая часть теоремы 2 представляет собой вероятностное истолкование теоремы 1. Действительно, условие «инвариантности» равносильно следующему:

$$E(P(\xi) \exp(itT)) = E(P(\xi)) E(\exp(itT)). \quad (6)$$

Если обозначить $f(t)$ характеристическую функцию распределения компоненты x_j ($j = 1, 2, \dots, n$), то, как известно, при условии существования соответствующих моментов имеет место

$$f^{(\alpha)}(t) = i^\alpha E(x_j^\alpha \exp(itx_j)).$$

Учитывая, что статистика $P(\xi)$ полиномиальная, а $T = x_1 + x_2 + \dots + x_n$, легко получается, что (6) приводится к форме (1).

Таким образом, $f(t)$ можно рассматривать как положительно-определенное решение уравнения (1), нормированное соответствующим образом, $f(0) = 1$. Такая нормировка в уравнении (1) допустима. $P(\xi)$ можно рассматривать при условии симметризации (что возможно) как порожденный полином. Так как по условию $P(\xi) \geq 0$, то дифференциальное уравнение «инвариантности» P по отношению к T оказывается положительно-определенным.

Это замечание указывает путь к доказательству теоремы 1, а затем и 2. Применение метода «вырезывания области интегрирования», предложенного вторым автором в ⁽¹⁾, дает возможность доказать последовательно существование всех моментов распределения компонентов x_j или производных $f(t)$ в нуле. Далее доказывается оценка

$$|f^{(k)}(0)| < k!M^k, \quad k = 1, 2, \dots$$

Поскольку $f(t)$ — положительно-определенная функция, отсюда вытекает аналитичность $f(t)$ в некотором круге, а затем и на всей плоскости.

Переходя к теореме 2, следует заметить, что целост положительно-определенного решения (1) и существование $E(\exp(sx))$ при условии инвариантности P и T эквивалентны.

Условие (5) теоремы 2 и характер статистики $P(\xi)$ дают возможность применить к доказательству теоремы 2 результаты, полученные в ⁽¹⁾.

В заключение отметим, что теорема, доказанная Лага и Базу в ^(2,3) при $r \geq n$ ⁽²⁾, где r — порядок полиномиальной статистики, является частным случаем теоремы 2.

Ленинградское отделение
Математического института им. В. А. Стеклова
Академии наук СССР

Поступило
30 I 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Ю. В. Линник, Вестн. ЛГУ, № 1, 35 (1956). ² D. Basu, R. G. Laha, Sankhyā, 13, part 4 (1954). ³ D. Basu, R. G. Laha, Sankhyā, 14, part 1 and 2 (1954).

А. И. КОСТРИКИН

О КОЛЬЦАХ ЛИ, УДОВЛЕТВОРЯЮЩИХ УСЛОВИЮ ЭНГЕЛЯ

(Представлено академиком И. М. Виноградовым 3 II 1956)

Будем говорить, что кольцо Ли \mathfrak{L} является кольцом с условием $E_{n,p}$, если: 1) \mathfrak{L} имеет характеристику $p \geq 0$; 2) \mathfrak{L} удовлетворяет n -му условию Энгеля: $[u v^n] = 0$ для любой пары элементов $u, v \in \mathfrak{L}$, где $[u v^n]$ означает правонормированное произведение $[\dots[[u, v], v], \dots, v]$; 3) $n < (n-1)p$ (любое в случае $p=0$). Удобно также ввести в рассмотрение гомоморфный образ кольца \mathfrak{L} — кольцо $\mathfrak{D}_{\mathfrak{L}}$ его внутренних дифференцирований: $a \rightarrow P_a$, $a \in \mathfrak{L}$, $P_a \in \mathfrak{D}_{\mathfrak{L}}$, $u P_a = [u, a]$ и $\mathfrak{A}_{\mathfrak{L}}$ — ассоциативное кольцо, порожденное элементами из $\mathfrak{D}_{\mathfrak{L}}$.

Хиггинсом ⁽¹⁾ была доказана нильпотентность колец Ли, удовлетворяющих n -му условию Энгеля, в следующих случаях: а) $n=2$, $p \geq 2$; б) $n=3$, $p \geq 3$, $p \neq 5$; в) $n=4$, $p \geq 11$. Нетрудно установить, дополнив вычисления Хиггинса, что в в) можно положить $p \geq 7$. С другой стороны, тождество $P_u^3 P_v^3 P_w^3 = 0$, на котором основаны все выводы в случае в), заведомо неверно при $p=5$; даже для кольца Ли \mathfrak{L} с двумя образующими, нильпотентность которого доказана в ⁽²⁾, $P_u^3 P_v^3 P_w^3 \neq 0$. Причиной заключается в том, что ряд соотношений, приводящих к различным тождествам в кольцах с условием $E_{n,p}$, $n < p-1$, совпадают, если $n=p-1$.

Между тем кольца Ли с условием $E_{p-1,p}$ представляют особый интерес с точки зрения теории p -групп ⁽³⁾ (связь с ослабленной проблемой Бернсайда). Именно из теоретико-групповых соображений наиболее естественным является изучение локальных свойств колец с условием $E_{n,p}$. В настоящей заметке получены некоторые результаты, связанные с вопросом об их локальной нильпотентности. Основным фактом при этом оказалась возможность определить для рассматриваемого класса колец Ли радикал Левицкого ⁽⁴⁾.

Определение 1. Кольцо Ли \mathfrak{L} называется локальнонильпотентным, если любое конечное множество элементов из \mathfrak{L} порождает нильпотентное кольцо Ли. В противном случае \mathfrak{L} называется локально регулярным кольцом.

Определение 2. Радикалом $N(\mathfrak{L})$ кольца Ли \mathfrak{L} назовем сумму всех его локально нильпотентных идеалов.

Теорема 1. Радикал кольца Ли \mathfrak{L} с условием $E_{n,p}$ является локально нильпотентным идеалом.

Теорема 2. Радикал кольца $T = \mathfrak{L} / N(\mathfrak{L})$ равен нулю.

При помощи этих общих утверждений исследованы кольца с условием $E_{n,p}$ для $n=4, 5$.

Теорема 3. Кольцо Ли \mathfrak{L} с условием $E_{4,p}$ локально нильпотентно. Отсюда, в частности, следует такой результат:

Свободное кольцо Ли характеристики 5 с любым конечным числом образующих x_1, \dots, x_q , удовлетворяющее 4-му условию Энгеля, нильпотентно.

Следствие. Пусть $B_{q,5}$ — приведенная свободная группа с q образующими, получающаяся наложением тождественного соотношения $x^5 = 1$.

B_i — члены ее нижнего центрального ряда. Тогда группа $\bar{B}_{q,5} = B_{q,5} / \bigcap_{i=1}^{\infty} B_i$ конечна (конечность группы $\bar{B}_{2,5}$ доказана в (2)).

Теорема 4. *Кольцо Ли с условием $E_{5,p}$ локально нильпотентно.*

Доказательства теорем 1 и 2 являются небольшими видоизменениями соответствующего доказательства Левицкого для общих ассоциативных колец и основаны на использовании теоремы 2 работы Джекобсона (5), утверждение которой в наших обозначениях сводится к следующему:

Пусть a — элемент кольца $\mathfrak{A}_{\mathfrak{L}}$ степени $k < p$, если $p \neq 0$, и произвольной степени, если $p = 0$; тогда ra при некотором целом рациональном $r \neq 0$ ($r = 1$ для $p > 0$) выражается в виде линейной комбинации l -х степеней, $l \leq k$, элементов из $\mathfrak{D}_{\mathfrak{L}}$. Степени здесь рассматриваются относительно P_{u_i} , $u_i \in \mathfrak{L}$.

Легко видеть, что в случае \mathfrak{L} с условием $E_{n,p}$ подобное представление возможно для всех элементов из $\mathfrak{A}_{\mathfrak{L}}$. В частности, при любом t имеем

$$rP_{a_1}P_{a_2}\dots P_{a_t} = \sum_{u_i} \alpha_i P_{u_i}^{n-1} + \sum_{v_i} \beta_i P_{v_i}^{n-2} + \dots + \sum_{w_i} \gamma_i P_{w_i}, \quad P_{u_i}, \dots, P_{w_i} \in \mathfrak{D}_{\mathfrak{L}}.$$

Используется также запись:

$$rP_{a_1}P_{a_2}\dots P_{a_t} = \sum_{b_1, \dots, b_{n-1}} \lambda_{b_1, \dots, b_{n-1}} P_{b_1} \dots P_{b_{n-1}},$$

где степень каждого произведения $P_{b_1} \dots P_{b_{n-1}}$ относительно P_{a_1}, \dots, P_{a_t} равна t . Отсюда, между прочим, легко может быть получена следующая теорема.

Теорема 5. *Пусть X — множество образующих ассоциативного кольца A характеристики $p \geq 0$; $[X]$ — кольцо Ли, порожденное множеством X относительно операции $[x_1 x_2] = x_1 x_2 - x_2 x_1$. Тогда, если A удовлетворяет условию $a^n = 0$, $a \in [X]$, $n < p$, то из нильпотентности $[X]$ следует нильпотентность (в ассоциативном смысле) кольца A (обратное утверждение тривиально).*

При доказательстве теоремы 3 используются два вспомогательных предложения.

Лемма 1. *Кольцо Ли \mathfrak{L} с условием $E_{3,p}$ локально нильпотентно. Более точно: для кольца T , порожденного k элементами из \mathfrak{L} , имеет место равенство $T^{2k+1} = 0$.*

Утверждение леммы 1 немедленно следует из тождеств

$$P_v P_u^2 + P_u P_v P_u + P_u^2 P_v = 0, \quad -3P_v P_u^2 + 3P_u P_v P_u - P_u^2 P_v = 0 \text{ в } \mathfrak{A}_{\mathfrak{L}}.$$

Лемма 2. *Пусть \mathfrak{L} — кольцо Ли с условием $E_{4,p}$. Тогда в $\mathfrak{A}_{\mathfrak{L}}$ имеют место тождества*

$$[P_u P_v^3]^3 = 0 \quad \text{для всех } P_u, P_v \in \mathfrak{D}_{\mathfrak{L}}; \quad (1)$$

$$P_{[uv^2]}^2 = [P_u P_v^2] = 0, \text{ если } P_v^3 = 0. \quad (2)$$

Тождества (1) и (2) являются легко проверяемыми следствиями соотношения $\sum_{i=0}^3 P_v^i P_u P_v^{3-i} = 0$ в $\mathfrak{A}_{\mathfrak{L}}$, которое в случае $P_v^3 = 0$ дает $P_v P_u P_v^2 + P_v^2 P_u P_v = 0$, а так как из $[uv^3] = 0$, в силу гомоморфности отображения $a \rightarrow P_a$, получается $[P_u P_v^3] = 0$, или $P_v P_u P_v^2 - P_v^2 P_u P_v = 0$, то $P_v P_u P_v^2 = P_v^2 P_u P_v = 0$.

Доказательство теоремы 3. Предположим, что \mathfrak{L} — локально регулярное кольцо Ли. Тогда локально регулярным будет и кольцо $T = \mathfrak{L}/N(\mathfrak{L})$. Поскольку $N(T) = 0$, T является кольцом без централизаторов. Пусть $\mu \mapsto P_\mu$, $\mu \in T$, — изоморфизм. Если $[uv^3] = 0$ для любой пары элементов $u, v \in T$, то T будет локально регулярным кольцом Ли с условием $E_{3,p}$, что по лемме 1 невозможно. Следовательно, $[u_0v_0^3] \neq 0$ для некоторых пар u_0, v_0 . В последнем случае найдется элемент $a \neq 0$ из T такой, что $P_a^2 = 0$ ($P_a \neq 0$ в силу сделанного выше замечания об изоморфности колец T и \mathfrak{D}_T). Используя лемму 2, легко показать, что элементом a является или $[u_0v_0^3] \neq 0$, или же $[w_0[u_0v_0^3]^2]$ при некотором $w_0 \neq 0$. $P_a^2 = 0$ означает, что $[ba^2] = 0$ для всех $b \in T$, чему в \mathfrak{D}_T соответствует равенство $[P_bP_a^2] = 0$, т. е. $P_aP_bP_a = 0$. Далее без труда устанавливается более общее тождество $P_aP_b^\alpha P_a = 0$, $\alpha = 0, 1, 2, 3$. Учитывая полученное тождество и замечание, сделанное перед формулировкой теоремы 5, можно показать, что идеал \mathfrak{A} кольца T , порожденный элементом a , — нильпотентный класса 2 идеал (т. е. коммутативный), что противоречит условию $N(T) = 0$.

Аналогичные (но более короткие) рассуждения приводят нас к доказательству теоремы 4. При этом используются тождество $P_{[uv^4]}^2 = 0$, верное для всех u, v из кольца \mathfrak{L} с условием $E_{5,p}$, и следующее утверждение.

Лемма 3. Пусть \mathfrak{L} — кольцо Ли с условием $E_{5,p}$, порожденное образующими x_1, \dots, x_q . Если $P_{x_i}^2 = 0$ ($i = 1, \dots, q$), то \mathfrak{L} нильпотентно.

Доказательство получается индукцией по q .

Поступило
3 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Р. J. Higgins, Proc. Cambridge Phil. Soc., 50, 1, 8 (1954). ² А. И. Кострикин, Изв. АН СССР, сер. матем., 19, 233 (1955). ³ И. Н. Санов, Изв. АН СССР, сер. матем., 16, 23 (1952). ⁴ J. Levitzki, Bull. Am. Math. Soc., 49, 461 (1943). ⁵ N. Jacobson, Trans. Am. Math. Soc., 42, 206 (1937).

О ЕДИНСТВЕННОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ ПРИВОДИМОГО РИМАНОВА ПРОСТРАНСТВА

(Представлено академиком И. Г. Петровским 17 I 1956)

Риманово пространство V_n называется приводимым, если в некоторой системе координат его метрика распадается на самостоятельные части, зависящие каждая от своих переменных:

$$ds^2 = ds_0^2 + ds_1^2 + \dots + ds_k^2, \quad (1)$$

где ds_0^2 — евклидова метрика, а ds_v^2 — неодномерные и неприводимые метрики. Геометрически приводимость V_n означает расслоение пространства на k взаимно-ортогональных систем вполне геодезических поверхностей, которые в (1) являются координатными. Ясно, что преобразование координат внутри каждой из ds_v^2 не меняет (1) и сохраняет соответствующее расслоение пространства. Такие преобразования будут для нас несущественными. Возникает вопрос, существуют ли другие расслоения пространства на ортогональные вполне геодезические поверхности, и если существуют, то каковы преобразования координат, переводящие одно из разложений вида (1) в другое. Ответом на этот вопрос служит настоящая заметка.

Рассмотрим сначала тот случай, когда ds^2 распадается на 2 неприводимые части: $ds^2 = ds_1^2 + ds_2^2$.

Теорема 1. (Широков (1)). Для того чтобы V_n было приводимым, необходимо и достаточно, чтобы существовал тензор a_{ij} , удовлетворяющий условиям:

$$1) a_{ij} = a_{ji}, \quad 2) a_{ij} \neq g_{ij}, \quad 3) a_{ij, k} = 0, \quad 4) a_{ik} a_j^k = a_{ij}, \quad (2)$$

где g_{ij} — метрический тензор, а запятой обозначена ковариантная производная.

В той системе координат, где $ds^2 = ds_1^2 + ds_2^2$, a_{ij} определяется равенствами $a_{i, j_1} = g_{i, j_1}$; $a_{i, j_2} = a_{i, j_3} = 0$; i, j пробегает значения, отвечающие ds_v^2 . Вполне геодезические поверхности, на которые расслаивается V_n , являются главными областями тензора a_{ij} , т. е. связаны с уравнением $a_{ij} - \lambda g_{ij} = 0$. Поэтому, если кроме данного имеется еще одно разбиение вида $ds^2 = d\sigma_1^2 + d\sigma_2^2$, то должен существовать тензор a_{ij} , удовлетворяющий 2) и имеющий хоть одну отличную от нуля «смешанную» компоненту a_{i_1, j_2} . Если фиксировать i_1 , то для вектора $v_{j_2} = a_{i_1, j_2}$ будет выполнено $v_{i_1, k_2} = 0$, т. е. это абсолютно параллельный вектор в ds_2^2 . Аналогично, если $u_{i_1} = a_{i_1, j_2}$, то $u_{i_1, k_1} = 0$ в ds_1^2 . Таким образом, получена следующая теорема:

Теорема 2. Если при расслоении $ds^2 = ds_1^2 + ds_2^2$ хотя бы одно из ds_i^2 не допускает абсолютно параллельного векторного поля, то такое расслоение единственно.

Пусть ds^2 ($n > 2$) расслаивается на 2 неприводимые части, допускающие абсолютно параллельные векторные поля, тогда: а) либо все эти поля изотропны⁽²⁾; б) либо какое-то из ds_i^2 одномерно, и единственное неизотропное абсолютно параллельное векторное поле лежит в этой одномерной части.

а) Предположим, что q -мерная форма ds_1^2 допускает r абсолютно параллельных независимых изотропных векторных полей, а $(n - q)$ -мерная ds_2^2 t таких полей; тогда в некоторой системе координат⁽²⁾

$$ds^2 = g_{\alpha_1 \beta_1}(x^{\gamma_1}) dx^{\alpha_1} dx^{\beta_1} + 2 dx^1 dx^{q-r+1} + \dots + 2 dx^r dx^q + \\ + g_{\alpha_2 \beta_2}(x^{\gamma_2}) dx^{\alpha_2} dx^{\beta_2} + 2 dx^{q+1} dx^{n-t+1} + \dots + 2 dx^{q+t} dx^n \quad (3)$$

$$(\alpha_1, \beta_1 = 1, \dots, q-r; \alpha_2, \beta_2 = q+1, \dots, n-t; r \leq q-r; t \leq n-q-t)$$

Любой тензор a_{ij} , удовлетворяющий (2) в пространстве (3), имеет вид

$$(a_{ij}) = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 g_{i_1 j_1} & c_{\alpha \sigma} & 0 \\ & 0 & 0 \\ c_{\sigma \alpha} & 0 & \\ 0 & 0 & \varepsilon_2 g_{i_2 j_2} \end{pmatrix}; \quad \begin{aligned} i_1, j_1 &= 1, \dots, q; \alpha = 1, \dots, r; \\ i_2, j_2 &= q+1, \dots, n; \sigma = q+1, \dots, q+t \\ \varepsilon_1 + \varepsilon_2 &= 1; \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 = 0; c_{\alpha \sigma} = c_{\sigma \alpha}. \end{aligned}$$

a_{ij} зависит от rt произвольных постоянных $c_{\alpha \sigma}$ и при любом из набора дает, в силу теоремы 1, разложение V_n на V_q и V_{n-q} . С другой стороны, преобразования координат

$$x^1 = y^1, \dots, x^{q-r} = y^{q-r}, \quad x^{q-r+\alpha} = y^{q-r+\alpha} - c_{\alpha q+1} y^{q+1} - \dots - c_{\alpha q+t} y^{q+t} \\ x^{q+1} = y^{q+1}, \dots, x^{n-t} = y^{n-t}, \quad x^{n-t+\sigma} = y^{n-t+\sigma} + c_{1q+\sigma} y^1 + \dots + c_{rq+\sigma} y^r \\ (\alpha = 1, \dots, r; \sigma = 1, \dots, t), \quad (4)$$

перемешивая координаты из ds_1^2 и ds_2^2 , в то же время не меняют вид метрики (3) и, следовательно, представляют конечные преобразования rt -параметрической группы движений. Тем самым доказана следующая теорема:

Теорема 3. Если в расслоении $ds^2 = ds_1^2 + ds_2^2$ на неприводимые не одномерные части каждая из них допускает, соответственно, r и t независимых абсолютно параллельных векторных полей, то такое разложение пространства V_n не единственно. Одно из них получается из другого преобразованиями rt -параметрической группы движений.

б) Пусть $ds^2 = ds_1^2 + dx^{n+1}^2$, где ds_1^2 неприводима и допускает r изотропных абсолютно параллельных векторных полей; тогда можно считать

$$ds^2 = g_{\alpha_1 \beta_1}(x^{\gamma_1}) dx^{\alpha_1} dx^{\beta_1} + 2 dx^1 dx^{n-r+1} + \dots + 2 dx^r dx^n + dx^{n+1}^2 \quad (5) \\ (\alpha_1, \beta_1 = 1, \dots, n-r).$$

Если тензор a_{ij} удовлетворяет в этом пространстве (2), то он зависит от r произвольных постоянных и имеет вид:

$$(a_{ij}) = \left(\begin{array}{c|c|c} \varepsilon_1 g_{uv} + \frac{c_v c_\mu}{1 - 2\varepsilon_1} & \varepsilon_1 g_{\mu p} & c_1 \\ \hline & & \vdots \\ \hline & & c_r \\ \hline \varepsilon_1 g_{qv} & \varepsilon_1 g_{qp} & 0 \\ \hline c_1 \dots \dots c_r & 0 & \varepsilon_2 \end{array} \right); \quad \begin{array}{l} \nu, \mu = 1, \dots, r; \\ p, q = r + 1, \dots, n; \\ \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 1; \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 = 0. \end{array}$$

Соответствующие преобразования координат, являющиеся движениями в (5):

$$\begin{aligned} x^1 &= y^1, \dots, x^{n-r} = y^{n-r}, x^{n-r+\nu} = y^{n-r+\nu} + c_\nu y^n - \frac{1}{2} c_\nu^2 y^\nu - c_\nu \sum_{\mu \neq \nu} c_\mu y^\mu, \\ x^n &= y^n - c_1 y^1 - \dots - c_r y^r \quad (\mu, \nu = 1, \dots, r). \end{aligned} \quad (6)$$

Теорема 4. Если в расслоении $ds^2 = ds_1^2 + dx^{n+1} ds_1^2$ неприводима и допускает r абсолютно параллельных векторных полей, то такое расслоение не единственно. Разные расслоения получаются друг из друга движениями r -параметрической группы.

Используя теоремы 2, 3 и 4, можно сформулировать общую теорему:

Теорема 5. Если в разложении (1) никакие две метрики не допускают абсолютно параллельных векторных полей, то такое разложение единственно. Если какие-то $p (\geq 2)$ из метрик ds_v^2 допускают, соответственно, r_1, r_2, \dots, r_p независимых абсолютно параллельных векторных полей, то существуют другие разложения вида (1), и все они получаются из данного преобразованиями группы движений, зависящей от $r = \sum_{i>j}^p r_i r_j$ параметров и перемешивающей только переменные из этих p метрик.

Заметим, что неизотропные абсолютно параллельные векторные поля могут быть при этом только в евклидовой части ds_0^2 , поэтому в случае собственно риманова пространства $V_n (ds^2 > 0)$ ds_v^2 не могут допускать вообще никаких абсолютно параллельных векторных полей. Отсюда следствия:

Следствие. Расслоение (1) V_n с положительно-определенной метрической формой на евклидову часть ds_0^2 и неприводимые неодномерные ds_v^2 единственно.

Теорема 5 позволяет решить вопрос о движениях в приводимом V_n .

Теорема 6. Если пространство V_n распадается на V_n и V_{n_2} , то его полная группа движений G порождается группой G_1 движений в V_{n_1} , группой G_2 движений в V_{n_2} и перемешивающей группой G_3 , если V_{n_1} и V_{n_2} допускают абсолютно параллельные векторные поля. При этом G_1 и G_2 являются нормальными делителями в G , т. е. $[G_1 G_3] \subset G_1$, $[G_2 G_3] \subset G_2$, $[G_1 G_2] = 0$, а группа G_3 абелева.

Теорема 7. Если пространство V_n имеет q независимых абсолютно параллельных векторных полей, то оно допускает группу движений, зависящую от $q(q+1)/2$ параметров.

Действительно, если r абсолютно параллельных векторных полей изотропны, а $t = q - r$ неизотропны, то метрика пространства приводится к виду

$$ds^2 = d\sigma^2 + ds_t^2,$$

где

$$d\sigma^2 = g_{\alpha\beta}(x^\gamma) dx^\alpha dx^\beta + 2dx^1 dx^{n-q+1} + \dots + 2dx^r dx^{n-q+r},$$

$$ds_t^2 = e_1 dx^{n-t+1}^2 + e_2 dx^{n-t+2}^2 + \dots + e_t dx^{n-t}^2 \quad (\alpha, \beta = 1, \dots, n-q), \quad e_\omega = \pm 1.$$

Полная группа движений при произвольных $g_{\alpha\beta}$ состоит из группы $G_{t(t+1)/2}$ евклидовых движений с операторами

$$X_{\omega} = p_{n-t+\omega}, \quad X_{\omega\tau} = e_{\omega} x^{n-\tau+\omega} p_{n-t+\tau} - e_{\tau} x^{n-t+\tau} p_{n-t+\omega} \quad (\omega, \tau = 1, \dots, t);$$

из группы $G_{r(r+1)/2}$ движений в $d\sigma^2$ с операторами

$$X_{\nu} = p_{n-q+\nu}, \quad X_{\nu\mu} = x^{\mu} p_{n-q+\nu} - x^{\nu} p_{n-q+\mu} \quad (\nu, \mu = 1, \dots, r)$$

и перемешивающей группы G_{rt}

$$X_{\nu\omega} = x^{\nu} p_{n-t+\omega} - e_{\omega} x^{n-t+\omega} p_{n-q+\nu}.$$

Общее число параметров $t(t+1)/2 + r(r+1)/2 + rt = q(q+1)/2$, так как $q = r + t$.

Риманово пространство V_n , имеющее $n-2$ независимых абсолютно параллельных векторных поля, называют простым K^* -пространством ⁽³⁾. Как следствие из теоремы 7 получаем:

Теорема 8. Простое K^* -пространство всегда допускает группу движений, зависящую от $(n-1)(n-2)/2$ параметров.

Поступило
14 I 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. А. Широков, Изв. Казанск. физ.-матем. общ., (3), 11, 9 (1938). ² L. P. Eisenhart, Ann. Math., 39, 316 (1938). ³ A. G. Walker, Proc. London Math. Soc., 52, 36 (1950).

С. МРУВКА

О ПОЛНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ БЛИЗОСТИ

(Представлено академиком П. С. Александровым 9 II 1956)

Пусть X — пространство близости. Существует класс псевдометрик $\{\rho_\xi\}_{\xi \in \Xi}^*$ такой, что множества A и B близки тогда и только тогда, если при всяком $\xi \in \Xi$ $\rho_\xi(A, B) = 0$. Наименьшее кардинальное число τ , для которого существует такой класс псевдометрик мощности τ , будем обозначать $\tau(X)$.

Положим

$$\delta_\xi(A) = \sup_{y, x \in A} \rho_\xi(x, y).$$

Число $\delta_\xi(A)$ будем называть ξ -м псевдиодиаментом множества A .

Пусть \mathfrak{K} — система подмножеств пространства X . Мы будем говорить, что эта система удовлетворяет условию Рисса, если при всяких $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k \in \Xi$ и $\epsilon > 0$ существует $A \in \mathfrak{K}$ такое, что $\delta_{\xi_1}(A) < \epsilon, \dots, \delta_{\xi_k}(A) < \epsilon$.

Введем следующее определение: пространство близости X называется полным, если всякая центрированная система \mathfrak{K} замкнутых подмножеств пространства X , удовлетворяющая условию Рисса, имеет непустое пересечение.

Пусть f — функция, определенная на топологическом пространстве T принимающая значения в пространстве близости X . Положим

$$\omega_\xi(t) = \inf_{U \ni t} \delta_\xi(f(U))$$

(t — открытое множество) и

$$\omega(t) = \sup_{\xi \in \Xi} \omega_\xi(t).$$

Число $\omega_\xi(t)$ мы будем называть ξ -й псевдоосцилляцией функции f , число $\omega(t)$ — осцилляцией функции f .

Обозначим через $G_{\delta\tau}$ класс множеств, которые являются пересечениями открытых множеств.

Теорема 1. Всякое замкнутое множество $A \subset X$ является множеством класса $G_{\delta\tau}$.

Доказательство вытекает непосредственно из формулы:

$$A = \prod_{\xi \in \Xi} \prod_n A_n^\xi,$$

* Псевдометрикой ρ_ξ называется действительная неотрицательная функция двух переменных, определенная на множестве X , для которой выполняются условия: 1) $\rho_\xi(x, x) = 0$; 2) $\rho_\xi(x, y) = \rho_\xi(y, x)$; 3) $\rho_\xi(x, y) + \rho_\xi(y, z) \geq \rho_\xi(x, z)$. Через $\rho_\xi(A, B)$ обозначаем число $\inf_{\substack{x \in A \\ y \in B}} \rho_\xi(x, y)$.

где

$$A_n^\varepsilon = \mathcal{C}_x \left(\rho_\varepsilon(x, A) < \frac{1}{n} \right),$$

так как множества A_n^ε открыты и составляют класс мощности τ .

Теорема 2. Если $B \subset X$ — множество класса $G_{\delta\tau}$ и $A \subset B$ является множеством класса $G_{\delta\tau}$ относительно B , то A является множеством класса $G_{\delta\tau}$ относительно всего пространства X .

Эта теорема очевидна.

Теорема 3. Пусть f — функция, определенная на топологическом пространстве T и принимающая значения в пространстве близости X . Тогда f непрерывна в точке $t \in T$ тогда и только тогда, если $\omega(t) = 0$.

Доказательство. Пусть f непрерывна в точке t . Пусть $\xi \in \Xi$ и $\varepsilon > 0$. Множество $V = \mathcal{C}_x (\rho_\varepsilon(x, f(t)) < \varepsilon)$ является открытым множеством,

и, в силу непрерывности f , в точке t существует открытое множество $U \subset T$ такое, что $f(U) \subset V$; $u, t \in U$. Но, очевидно, $\delta_\xi(V) \leq 2\varepsilon$, а значит, $\delta_\xi(f(U)) \leq 2\varepsilon$ и $\omega_\xi(t) \leq 2\varepsilon$. В силу произвольности ε $\omega_\xi(t) = 0$, а в силу произвольности ξ $\omega(t) = 0$. Пусть теперь $\omega(t) = 0$ и V — произвольная окрестность точки $f(t)$. Так как $X - V$ — замкнутое множество и $f(t) \in X - V$, то множества $\{f(t)\}$ и $X - V$ далеки, а значит, существует такое $\xi \in \Xi$, что $\varepsilon = \rho_\xi(f(t), X - V) > 0$. Так как $\omega_\xi(t) = 0$, то существует окрестность U точки t такая, что $\delta_\xi(f(U)) < \varepsilon$. Очевидно, $f(U) \subset V$ и f непрерывна в точке t .

Теорема 4. Множество $\mathcal{C}_t(\omega(t) = 0)$ является множеством класса $G_{\delta\tau}$ ($\tau = \tau(X)$).

Доказательство. Сначала покажем, что множество $A = \mathcal{C}_t(\omega_\xi(t) \geq a)$ ($a > 0$) замкнуто. Пусть $t_0 \in \bar{A}$ и U — произвольная окрестность точки t_0 . Существует $t \in A \cdot U$. Так как $\omega_\xi(t) \geq a$ и $t \in U$, то $\delta_\xi(f(U)) \leq a$. В силу произвольности U $\omega_\xi(t_0) \geq a$, а значит $t_0 \in A$. Пусть теперь $\mathcal{C}_\xi^n = \mathcal{C}_t(\omega_\xi(t) < \frac{1}{n})$. Множество \mathcal{C}_ξ^n открыто, как дополнение замкнутого множества. Имеем

$$\mathcal{C}_t(\omega(t) = 0) = \prod_{\xi} \prod_n \mathcal{C}_\xi^n.$$

Так как множества \mathcal{C}_ξ^n составляют класс мощности τ , то $\mathcal{C}_t(\omega(t) = 0)$ — множество класса $G_{\delta\tau}$.

Теорема 5. Всякая непрерывная функция f , определенная на подмножестве T_1 топологического пространства T и принимающая значения в полном пространстве близости X , может быть продолжена непрерывным образом на множество класса $G_{\delta\tau}$ ($\tau = \tau(X)$).

Доказательство. Пусть $T_2 = \mathcal{C}_t(\omega(t) = 0)$. T_2 является множеством класса $G_{\delta\tau}$, а из непрерывности f следует, что $T_1 \subset T_2$. Покажем, что f может быть продолжена на T_2 . Пусть t — произвольная точка T . Так как $t \in \bar{T}_1$, то система $\{T_1 \cdot U\}$, где U — произвольная окрестность точки t , центрирована. Таким образом, система $\mathfrak{R}_t = \{f(T_1 \cdot U)\}$ тоже центрирована, а из условия $\omega(t) = 0$ вытекает, что \mathfrak{R}_t удовлетворяет условию Рисса. В силу полноты пространства X существует в точности одна точка x , принадлежащая всем множествам системы \mathfrak{R}_t . Положим $f^*(t) = x$. Так как условие $\omega(t) = 0$ выполнено для функции f^* во всех точках T , то f^* непрерывна на T_2 и является продолжением f .

Теорема Лаврентьева допускает следующее обобщение:

Теорема 6. Пусть X и Y — полные пространства близости и h — гомеоморфизм между множествами X_1 и Y_1 , лежащими, соответственно,

и X и Y . Гомеоморфизм h может быть продолжен на множества класса $G_{\delta\tau}$, содержащие соответственно множества X_1 и Y_1 ($\tau = \max\{\tau(X), \tau(Y)\}$).

Доказательство. Пусть $\{\rho'_\xi\}_{\xi \in \Xi}$ и $\{\rho''_\eta\}_{\eta \in \mathbb{N}}$ — классы псевдометрик соответственно в пространствах X и Y . Рассмотрим пространство $X \times Y$. Это пространство близости, для которого множеством точек является множество всех пар $\langle x, y \rangle$, где $x \in X$, $y \in Y$, а классом псевдометрик класс $\{\rho'_{\xi, \eta}\}_{\xi \in \Xi, \eta \in \mathbb{N}}$, где

$$\rho'_{\xi, \eta}(\langle x, y \rangle, \langle x_1, y_1 \rangle) = \rho'_\xi(x, x_1) + \rho''_\eta(y, y_1).$$

Очевидно, $\tau(X \times Y) = \max\{\tau(X), \tau(Y)\}$.

В силу предыдущей теоремы функции h и h^{-1} можно продолжить до функций h^* и h^{-1*} , определенных, соответственно, на множествах X_1^* и Y_1^* класса $G_{\delta\tau}$ таких, что $X_1 \subset X_1^*$ и $Y_1 \subset Y_1^*$.

Положим

$$I = \bigcup_{\langle x, y \rangle} (y = h^*(x)), \quad J = \bigcup_{\langle x, y \rangle} (x = h^{-1*}(y)).$$

Обозначим через X_2 и Y_2 проекции множества $I \cdot J$ соответственно на X и Y . Очевидно, что h^* является гомеоморфизмом, переводящим X_2 на Y_2 . Остается показать, что X_2 и Y_2 являются множествами класса $G_{\delta\tau}$. Пусть $p(x) = \langle x, h^*(x) \rangle$. Следовательно, $X_2 = p^{-1}(I)$. Так как множество I замкнуто в $X \times Y_1^*$, то оно является множеством класса $G_{\delta\tau}$ в $X \times Y$. В силу непрерывности p из этого следует, что $X_2 = p^{-1}(I)$ является множеством класса $G_{\delta\tau}$ относительно X_1^* , а следовательно, и относительно X . Аналогично Y_2 является множеством класса $G_{\delta\tau}$ относительно Y .

Эти теоремы позволяют обобщить следующие теоремы из теории полных метрических пространств.

Теорема 7. Во всяком полном пространстве близости X веса $\leq m$ и мощности 2^m таком, что $\tau(X) \leq m$, существует класс F мощности 2^{2^m} подмножеств X , из которых никакое не является непрерывным образом другого.

Теорема 8. Если для X выполняются условия теоремы 6, то существует класс F мощности 2^{2^m} подмножеств X разных топологических типов.

Доказательство теоремы 7. В доказательстве мы опираемся на следующую известную лемму из общей теории множеств:

Лемма (1). Пусть X — бесконечное множество мощности n и Φ — класс мощности $\leq n$ отображений подмножеств X на подмножества X мощности n . Существует класс F мощности 2^n подмножеств X такой, что из $A \in F$, $B \in F$, $A \neq B$ вытекает $f(A) \cap B = \emptyset$ при всякой $f \in \Phi$.

Пусть $n = 2^m$ и Φ — класс всех непрерывных отображений, определенных на всевозможных множествах класса $G_{\delta\tau}$ на множества мощности n . Так как $\overline{X} = n$ и $\overline{\Phi} \leq n$, то условия леммы выполнены. Мы докажем, что класс F , существование которого утверждает лемма, является искомым классом. Пусть $A, B \in F$, $A \neq B$ и B является непрерывным образом A . Тогда существует непрерывное отображение g такое, что $g(A) = B$. Но g может быть продолжено до отображения \overline{f} множества A^* класса $G_{\delta\tau}$. Так как $f(A^*) \supset B$ и $\overline{B} = n$, то $f \in \Phi$, а значит $\overline{f}(A) \cap \overline{B} = \emptyset$. Но $\overline{f}(A) = g(A)$, что противоречит условию $g(A) = B$.

Теорема 8 доказывается аналогично.

В заключение мы приведем пример, показывающий, что в полных пространствах близости теорема Бэра неверна.

Пусть X — множество всех рациональных чисел отрезка $\langle 0, 1 \rangle$. Возьмем следующий класс псевдометрик: $\rho(x, y) = |x - y|$, $\rho_{\xi}(x, y) = \left| \frac{1}{|x - \xi|} - \frac{1}{|y - \xi|} \right|$ (ξ является иррациональным числом отрезка $\langle 0, 1 \rangle$). Пространство X , очевидно, гомеоморфно пространству всех рациональных чисел отрезка $\langle 0, 1 \rangle$; таким образом, в X теорема Бэра не выполняется. Покажем, что X полно. Пусть \mathfrak{K} — центрированная система замкнутых множеств, выполняющая условие Рисса. Рассмотрим систему всех $\{\bar{A}\}_{A \in \mathfrak{K}}$, где \bar{A} обозначает замыкание множества A относительно всего отрезка $\langle 0, 1 \rangle$. Так как $\{\bar{A}\}_{A \in \mathfrak{K}}$ — центрированная система, то существует x , принадлежащее всем \bar{A} . Чтобы доказать, что пересечение всех $A \in \mathfrak{K}$ не пусто, достаточно показать, что x является рациональным числом. Пусть x — иррациональное число и пусть $x = \xi$. Так как $x \in \bar{A}$ и $x \notin A$, то существуют y_1 и $y_2 \in A$ такие, что $|y_1 - \xi| \leq \frac{|y_2 - \xi|}{1 + |y_2 - \xi|}$. Таким образом, $\rho_{\xi}(y_1, y_2) \geq 1$, а значит, $\delta_{\xi}(A) \geq 1$, что противоречит условию, что \mathfrak{K} — система, удовлетворяющая условию Рисса.

Математический институт
Академии наук Польской Народной Республики

Поступило
1 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. Kuratowski, Topologie, 1, p. 332, 1952.

А. СЕЛЕЗНЕВ

О ФУНКЦИЯХ, МОНОГЕННЫХ НА НИГДЕ НЕ ПЛОТНЫХ
ЗАМКНУТЫХ МНОЖЕСТВАХ И МНОЖЕСТВАХ ТИПА F_σ

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 29 III 1956)

1. Классическая теория функций комплексного переменного являлась основным теорией аналитических функций, т. е. функций, моногоенных области, расположенной на плоскости комплексного переменного z или на некоторой лежащей над этой плоскостью поверхности Римана. Однако, как было показано еще Борелем (1908—1917 гг.) (1), основные свойства аналитических функций сохраняются для некоторых более широких классов функций, а именно для функций, моногоенных на так называемых областях Коши или «областях C », представляющих собой некоторые специальные множества типа F_σ .

Естественно возникает задача — исследовать классы функций, моногоенных (т. е. имеющих конечную производную) на различных, по возможности более широких, классах множеств типа F_σ , расположенных на плоскости z или на некоторой поверхности Римана, и установить связь между свойствами этих функций и структурой множества типа F_σ . Эта задача сводится к исследованию моногоенных функций на ограниченных нигде не плотных замкнутых множествах точек плоскости z .

2. Пусть F — некоторое связное замкнутое (совершенное) множество точек плоскости z и G_k ($k = 0, 1, 2, \dots$) — последовательность смежных для F областей, причем G_0 содержит точку $z = \infty$. Допустим, что области G_k ограничены замкнутыми жордановыми спрямляемыми кривыми γ_k ($k = 0, 1, 2, \dots$), причем

$$\sum_{k=0}^{\infty} \text{дл. } \gamma_k < \infty. \quad (1)$$

Примем за положительные направления обхода кривых γ_k ($k = 0, 1, 2, \dots$) такие направления обхода, при которых точки соответствующей области G_k остаются с правой стороны от движущейся по кривой γ_k точки. Будем говорить, что кривые γ_k ($k = 0, 1, 2, \dots$) образуют сложный контур Γ ($\Gamma = \gamma_0 + \gamma_1 + \gamma_2 + \dots$). Точки контура Γ назовем «строго граничными», точки множества F , не принадлежащие Γ , «строго внутренними» точками множества F . Совокупность G_Γ строго внутренних точек множества F назовем «строгой внутренностью» или просто «внутренностью» контура Γ . Очевидно, $F = G_\Gamma + \Gamma$. Допустим, что в любой точке $z \in F$

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\tau_{\delta, z}}{\delta} = \tau_z < \infty, \quad (2)$$

где $\tau_{\delta, z}$ — сумма длин кривых γ_k или их частей, принадлежащих замкнутому кругу радиуса δ с центром в точке z .

Контур Γ , обладающий указанными выше свойствами (т. е. удовле-

творяющий условиям (1) и (2)), назовем контуром типа C , а соответствующее множество F — множество типа C .

Сумму множеств типа C назовем множеством типа C_σ («области C_σ » Бореля являются специальными множествами типа C_σ).

Для любой непрерывной на множестве F типа C функции $f(z)$ положим

$$\int_{\Gamma} f(\xi) d\xi = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{\gamma_k} f(\xi) d\xi,$$

где кривые γ_k пробегаются в положительном направлении.

Из условия (1) следует, что ряд $\sum_{k=0}^{\infty} \int_{\gamma_k} f(\xi) d\xi$ абсолютно сходится, а значит, порядок членов этого ряда можно изменять, не меняя его суммы.

Используя идею доказательства теоремы Коши для случая треугольного контура, можно установить следующую теорему:

Теорема 1. Для любой моногенной на множестве F типа C функции $f(z)$

$$\int_{\Gamma} f(\xi) d\xi = 0. \quad (3)$$

Теорема 1'. Для любой моногенной на множестве E типа C_σ функции $f(z)$ и сложного контура Γ типа C , принадлежащего E вместе со своей внутренностью,

$$\int_{\Gamma} f(\xi) d\xi = 0.$$

Следствие. Если функция $f(z)$ является пределом равномерно сходящейся на множестве F типа C последовательности моногенных на F (в частности, рациональных) функций, то

$$\int_{\Gamma} f(\xi) d\xi = 0.$$

Теорема 1 является обобщением известной интегральной теоремы для системы контуров. Отсюда легко получить так же теорему Коши для односвязной области.

Из следствия вытекает, в частности, что на множестве F типа C на всякую непрерывную на F функцию можно равномерно аппроксимировать моногенными на F (в частности, рациональными) функциями.

3. Из теоремы 1 вытекает также следующая теорема:

Теорема 2. Если функция $f(z)$ моногенна на множестве F типа C , то для любой строго внутренней точки z множества F ряд

$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma_k} \frac{f(\xi) d\xi}{\xi - z}, \quad (4)$$

где кривые γ_k ($k = 0, 1, 2, \dots$) обходятся в положительном направлении, сходится к $f(z)$ или имеет последовательность частичных сумм, сходящихся к $f(z)$.

Ряд (4), очевидно, сходится к функции $f(z)$ на множестве E_0 точек z , для которых сходится ряд $\sum_{k=0}^{\infty} \frac{\text{дл. } \gamma_k}{\rho_{k,z}}$, где $\rho_{k,z}$ — расстояние точки z до кривой γ_k .

Если

$$\sum_{k=0}^{\infty} (\text{дл. } \gamma_k)^{1/3} < \infty, \quad (5)$$

то множество E_0 совпадает по мере с множеством F , т. е. $\mu E_0 = \mu F$.

4. Ряд (4) является частным случаем ряда

$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma_k} \frac{\varphi(\xi) d\xi}{\xi - z}, \quad (6)$$

где $\varphi(\xi)$ — произвольная непрерывная на множестве F функция.

При условии (5) этот ряд сходится почти всюду на множестве F , а именно на множестве E_0 , к некоторой функции $f(z)$.

На множестве E_m точек z , для которых ряд $\sum_{k=0}^{\infty} \frac{\text{дл. } \gamma_k}{\rho_{k,z}^{2m+1}}$ сходится, функция $f(z)$ имеет производные до m -го порядка включительно.

Если

$$\sum_{k=0}^{\infty} (\text{дл. } \gamma_k)^{\frac{2}{2m+3}} < \infty, \quad (7)$$

то $\mu E_m = \mu F$.

На множестве E_m

$$f^{(m)}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{m!}{2\pi i} \int_{\gamma_k} \frac{\varphi(\xi) d\xi}{(\xi - z)^{m+1}}. \quad (8)$$

На множестве $E_{\infty} = E_0 E_1 E_2 \dots$ функция $f(z)$ имеет производные любого порядка. Если условие (7) выполнено при любом m ($m=0, 1, 2, \dots$), то $\mu E_{\infty} = \mu F$, т. е. функция $f(z)$ бесконечно дифференцируема почти всюду на множестве F .

5. Теорема 3. Если последовательность монотонных на множестве F типа C функций $f_n(z)$ ($n=1, 2, \dots$) сходится равномерно к функции $f(z)$, то на множестве E_m эта функция имеет производные до m -го порядка включительно, причем

$$f^{(m)}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{m!}{2\pi i} \int_{\gamma_k} \frac{f(\xi) d\xi}{(\xi - z)^{m+1}}. \quad (8')$$

В частности, при выполнении условия (7) для любого m функция $f(z)$, являющаяся на множестве F типа C пределом равномерно сходящейся последовательности рациональных функций, почти всюду бесконечно дифференцируема на множестве F .

6. Пусть при любом m ($m=0, 1, 2, \dots$) выполнено условие (7), а следовательно, $\mu E_{\infty} = \mu F$.

Если $z=0 \in E_{\infty}$, то для любой монотонной на множестве F типа C функции $f(z)$ можно составить ряд

$$f(0) + f'(0)z + \frac{f''(0)}{2!}z^2 + \dots \quad (9)$$

Назовем звездой $M_0^{(F)}$ множество точек z , принадлежащих G_F вместе с отрезком Oz .

При условии, что

$$\frac{\text{дл. } \gamma_n}{\rho_{n,0}} \leq \varphi(n), \quad (10)$$

где $\varphi(n)$ — некоторая достаточно быстро стремящаяся к нулю при $n \rightarrow \infty$ функция, почти всюду на $M_0^{(F)}$ имеет место разложение

$$f(z) = \lim_{k \rightarrow \infty} \left[\sum_{k=0}^{m_k} \theta_k \frac{f^{(k)}(0)}{k!} z^k + \sum_{k=0}^{n_k} (1 - \theta_k) \frac{f^{(k)}(0)}{k!} z^k \right], \quad (11)$$

установленное А. И. Маркушевичем для аналитических в окрестности начала функций.

Здесь последовательности m_k ($k = 1, 2, \dots$) и n_k ($k = 1, 2, \dots$) зависят от множества F и не зависят от функции $f(z)$, а последовательность θ_k ($k = 0, 1, 2, \dots$) не зависит ни от множества F , ни от функции $f(z)$ (Последовательность θ_k ($k = 0, 1, 2, \dots$) та же самая, что и в теореме А. И. Маркушевича.)

Из разложения (11) следует, что последовательность функционалов $\{f^{(k)}(0)\}_{k=0,1,2,\dots}$ однозначным образом определяет на звезде $M_0^{(F)}$ моногенную на множестве F типа C функцию $f(z)$. Отсюда вытекает также, что гомотетичная на множестве F типа C функция $f(z)$ однозначно определяется на звезде $M_0^{(F)}$ ее значениями на любой дуге, принадлежащей E_∞ и проходящей через точку $z = 0$.

Если любые две точки множества E_∞ можно соединить ломаной линией, принадлежащей G_Γ , то при условии (10) и при $\mu E_\infty = \mu F$ моногенная на множестве F типа C функция $f(z)$ однозначно определяется последовательностью $\{f^{(k)}(0)\}_{k=0,1,2,\dots}$ или ее значениями на сколь угодно малой дуге, принадлежащей E_∞ .

7. Воспользовавшись разложением (11), можно установить следующую теорему:

Теорема 4. Пусть функция $f(z)$ моногенна на множестве F типа C , $z = 0 \in E_\infty$, $\mu E_\infty = \mu F$ и выполнено условие (10). Тогда, если $f^{(n)}(0) = 0$ при $n \neq \lambda_k$ ($k = 1, 2, \dots$; λ_k целые; $0 < \lambda_k < \lambda_{k+1}$) и

$$\lambda_k \leq m_{\nu_k} < n_{\nu_k} < \lambda_{k+1} \quad (12)$$

($k = k_1, k_2, \dots$), то существует последовательность частичных сумм ряда (9), сходящаяся почти всюду внутри звезды $M_0^{(F)}$ к функции $f(z)$.

Эта теорема является обобщением известной теоремы Островского о сверхсходимости.

8. Ряд

$$\sum_0^\infty a_n z^n \quad (13)$$

с отличным от нуля радиусом сходимости R определяет некоторую моногенную на множестве F типа C функцию $f(z)$ (в качестве F можем взять, например, круг $|z| \leq r < R$). Если функция $f(z)$ моногенна на множестве F типа C , имеющем точки, лежащие вне круга $|z| \leq R$, $z = 0 \in E_\infty$, $\mu E_\infty = \mu F$ и выполнено условие (10), то эта функция $f(z)$ будет определена внутри звезды $M_0^{(F)}$ при помощи разложения (11). Если, кроме того, для рассматриваемого множества F любые две точки E_∞ можно соединить ломаной линией, принадлежащей G_Γ , то функцию $f(z)$ можно будет определить на всем множестве F .

Этот процесс определения значений функции $f(z)$ на множестве $M_0^{(F)}$ или на множестве F назовем моногенным продолжением ряда (13). Из теоремы 4 следует существование достаточно широких классов рядов (13), моногенно непродолжимых за окружности их кругов сходимости ⁽²⁾.

Горьковский инженерно-строительный институт
им. В. П. Чкалова

Поступило
2 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ E. Borel, Leçons sur les fonctions monogènes uniformes d'une variable complexe. Paris, 1917. ² А. И. Селезнев, Матем. сборн., 26 (68): 3 (1950).

В. В. СТРУМИНСКИЙ

ТРЕХМЕРНЫЙ ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ НА ПРОИЗВОЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

(Представлено академиком А. А. Дородницыным 27 XII 1955)

При исследовании отдельных частных случаев движения жидкости в трехмерном пограничном слое был обнаружен ряд новых явлений (⁽¹⁻³⁾ и др.), поэтому представляет большой интерес изучение общего случая движения жидкости в трехмерном пограничном слое. Общие уравнения трехмерного пограничного слоя были получены еще Леви-Чивита (⁽⁴⁾), а затем Хоуэрзом (⁽⁵⁾) при некоторых предположениях о порядке малости отдельных выражений.

В работе дается строгий вывод уравнений трехмерного пограничного слоя для произвольной поверхности и доказывается, что эти уравнения являются предельной формой уравнений Навье—Стокса при неограниченном возрастании числа Рейнольдса. Трехмерные уравнения пограничного слоя преобразуются к виду, обнаруживающему влияние главных кривизн поверхности.

Для вывода уравнений трехмерного пограничного слоя выберем систему криволинейных ортогональных координат, непосредственно связанную с исследуемой поверхностью S .

Пусть уравнение поверхности задано в виде:

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}(\xi, \eta). \quad (1)$$

Если поверхность отнесена к системе линий кривизны $\xi = \text{const}$, $\eta = \text{const}$, то основная квадратичная форма поверхности будет иметь вид

$$dS^2 = (\mathbf{X}_\xi \mathbf{X}_\xi) d\xi^2 + (\mathbf{X}_\eta \mathbf{X}_\eta) d\eta^2.$$

Запишем теперь семейство поверхностей, параллельных к исследуемой поверхности, следующим образом:

$$\mathbf{X}_1 = \mathbf{X} + \zeta \vec{\omega}(\xi, \eta),$$

где $\vec{\omega}$ — единичный вектор нормали к рассматриваемой поверхности.

Поверхность $\zeta = \text{const}$ и поверхности $\xi = \text{const}$, $\eta = \text{const}$, образованные нормальными к соответствующим линиям кривизны, примем за новую систему криволинейных ортогональных координат. Дифференцируя выражение для \mathbf{X} и возводя его в квадрат, найдем после ряда упрощений длину дуги в новой системе координат:

$$dS^2 = (\mathbf{X}_\xi + \zeta \vec{\omega}_\xi)^2 d\xi^2 + (\mathbf{X}_\eta + \zeta \vec{\omega}_\eta)^2 d\eta^2 + d\zeta^2. \quad (2)$$

Согласно теореме Родрига, вдоль линий кривизны выполняются равенства

$$\vec{\omega}_\xi = \frac{\mathbf{X}_\xi}{R_1}, \quad \vec{\omega}_\eta = \frac{\mathbf{X}_\eta}{R_2},$$

где $R_1(\xi, \eta)$ и $R_2(\xi, \eta)$ — главные радиусы кривизны поверхности.

Выражение (2) может быть записано в виде

$$dS^2 = A_1^2 \left(1 + \frac{\zeta}{R_1}\right)^2 d\xi^2 + A_2^2 \left(1 + \frac{\zeta}{R_2}\right)^2 d\eta^2 + d\zeta^2, \quad (3)$$

где $A_1^2(\xi, \eta) = X_\xi^2$, $A_2^2(\xi, \eta) = X_\eta^2$ — коэффициенты основной квадратичной формы поверхности.

Таким образом, в новой системе координат коэффициенты Ламе равны:

$$H_1(\xi, \eta, \zeta) = A_1(\xi, \eta) \left(1 + \frac{\zeta}{R_1(\xi, \eta)}\right), \\ H_2(\xi, \eta, \zeta) = A_2(\xi, \eta) \left(1 + \frac{\zeta}{R_2(\xi, \eta)}\right), \quad H_3(\xi, \eta, \zeta) = 1. \quad (4)$$

Нетрудно показать, что система поверхностей $\xi = \text{const}$, $\eta = \text{const}$ и $\zeta = \text{const}$ образует триортогональную систему поверхностей, так как коэффициенты H_1 , H_2 и H_3 удовлетворяют системе Ламе, состоящей из 6 дифференциальных уравнений в частных производных 2-го порядка.

Запишем теперь уравнения Навье — Стокса в криволинейной системе координат ξ , η , ζ . Первое из уравнений Навье — Стокса будет иметь вид

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{H_1} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{H_2} \frac{\partial u}{\partial \eta} + w \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{uv}{H_1 H_2} \frac{\partial H_1}{\partial \eta} + \frac{uw}{H_1} \frac{\partial H_1}{\partial \zeta} - \frac{v^2}{H_1 H_2} \frac{\partial H_2}{\partial \xi} = \\ = -\frac{1}{H_1} \frac{\partial p}{\partial \xi} - \frac{1}{\text{Re} H_2} \left\{ \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{1}{H_1} \frac{\partial v}{\partial \xi} - \frac{v}{H_1 H_2} \frac{\partial H_2}{\partial \xi} \right) - \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{1}{H_2} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{u}{H_1 H_2} \frac{\partial H_1}{\partial \eta} \right) - \right. \\ \left. - \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(H_2 \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{H_2}{H_1} u \frac{\partial H_1}{\partial \zeta} \right) + \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\frac{H_2}{H_1} \frac{\partial w}{\partial \xi} \right) \right\}.$$

Перейдем теперь к новым переменным ξ_1 , η_1 , ζ_1 , u_1 , v_1 , w_1 :

$$\xi = \xi_1, \quad \eta = \eta_1, \quad \zeta = \frac{\zeta_1}{V \text{Re}}; \quad u = u_1, \quad v = v_1, \quad w = \frac{w_1}{V \text{Re}}.$$

Пусть величины u_1 , v_1 , w_1 , а также их первые и вторые производные по ξ_1 , η_1 , ζ_1 имеют конечные значения, а поверхность обтекаемого тела имеет гладкую форму с непрерывными главными кривизнами и их производными. В этом случае выражения $\frac{1}{R_1 V \text{Re}}$, $\frac{1}{R_2 V \text{Re}}$, $\frac{1}{R_1 V \text{Re}}$, $\frac{1}{R_1} \frac{\partial R_1}{\partial \eta_1}$, $\frac{1}{R_1 V \text{Re} R_2} \frac{\partial R_1}{\partial \xi_1}$ и т. п. будут стремиться к нулю при неограниченном увеличении числа Re . В соответствии с этим имеем

$$\lim_{\text{Re} \rightarrow \infty} H_1 = A_1, \quad \lim_{\text{Re} \rightarrow \infty} H_2 = A_2, \\ \lim_{\text{Re} \rightarrow \infty} \frac{1}{H_1 H_2} \frac{\partial H_1}{\partial \eta_1} = \frac{1}{A_1 A_2} \frac{\partial A_1}{\partial \eta_1}, \quad \lim_{\text{Re} \rightarrow \infty} \frac{1}{H_1 H_2} \frac{\partial H_2}{\partial \xi_1} = \frac{1}{A_1 A_2} \frac{\partial A_2}{\partial \xi_1} \text{ и т. п.}$$

Выполняя указанные выше преобразования, из уравнений Навье — Стокса при неограниченном возрастании числа Рейнольдса получим следующую систему уравнений пограничного слоя для произвольной поверхности:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{A_1} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{A_2} \frac{\partial u}{\partial \eta} + w \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{uv}{A_1 A_2} \frac{\partial A_1}{\partial \eta} - \frac{v^2}{A_1 A_2} \frac{\partial A_2}{\partial \xi} = -\frac{1}{A_1} \frac{\partial p}{\partial \xi} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 u}{\partial \zeta^2}; \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{A_1} \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{A_2} \frac{\partial v}{\partial \eta} + w \frac{\partial v}{\partial \zeta} + \frac{uv}{A_1 A_2} \frac{\partial A_2}{\partial \xi} - \frac{u^2}{A_1 A_2} \frac{\partial A_1}{\partial \eta} = -\frac{1}{A_2} \frac{\partial p}{\partial \eta} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 v}{\partial \zeta^2}; \quad (5) \\ \frac{1}{A_1} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{1}{A_2} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{\partial w}{\partial \zeta} + \frac{u}{A_1 A_2} \frac{\partial A_2}{\partial \xi} + \frac{v}{A_1 A_2} \frac{\partial A_1}{\partial \eta} = 0; \\ \frac{u^2}{R_1} + \frac{v^2}{R_2} = \frac{\partial p}{\partial \zeta}.$$

На искривленной поверхности градиент давления в нормальном направлении является величиной первого порядка, однако изменение давления на протяжении слоя все же остается малой величиной, и им можно пренебречь. В этом случае давление попрежнему будет определяться внешним потоком. Следовательно, граничные условия для первых трех уравнений (5) могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned} \text{при } \zeta = 0 \quad u = v = w = 0; \\ \text{при } \zeta \rightarrow \infty \quad u = U(\xi, \eta), \quad v = V(\xi, \eta), \end{aligned}$$

где U и V — заданные функции, например, по теории идеальной жидкости.

Отметим, что общие уравнения трехмерного пограничного слоя (5) могут быть преобразованы к более удобному для приложений виду. Полагая, например, $\bar{u} = A_2 u$; $\bar{v} = A_1 v$; $\bar{w} = A_1 A_2 w$, запишем уравнения (5) в виде

$$\begin{aligned} \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \xi} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \eta} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \zeta} - \left[\bar{u}^2 + \bar{v}^2 \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \frac{\partial}{\partial \xi} \ln A_2 + \bar{u} \bar{v} \frac{\partial}{\partial \eta} \ln \frac{A_1}{A_2} = \\ = - \frac{A_2^2}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \xi} + \nu A_1 A_2 \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \zeta^2}; \\ \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \xi} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \eta} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \zeta} - \left[\bar{u}^2 \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 + \bar{v}^2 \right] \frac{\partial}{\partial \eta} \ln A_1 + \bar{u} \bar{v} \frac{\partial}{\partial \xi} \ln \frac{A_2}{A_1} = \\ = - \frac{A_1^2}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \eta} + \nu A_1 A_2 \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial \zeta^2}; \\ \frac{\partial \bar{u}}{\partial \xi} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial \eta} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial \zeta} = 0 \end{aligned}$$

граничными условиями $\bar{u} = \bar{v} = \bar{w} = 0$ при $\zeta = 0$ и $\bar{u} = A_2 U(\xi, \eta)$, $\bar{v} = A_1 V(\xi, \eta)$.

В этих переменных основные инерционные члены первых двух уравнений и уравнение неразрывности для произвольной поверхности имеют такой же вид, как и для плоской пластинки.

Из выражений (5) видно, что в уравнениях трехмерного пограничного слоя для произвольной поверхности появляются дополнительные члены, зависящие от метрических свойств исследуемой поверхности. Коэффициенты у этих членов можно в явном виде выразить через главные кривизны поверхности и их производные. Из уравнений Кодации имеем

$$-\frac{1}{A_1} \frac{\partial A_1}{\partial \eta} = \frac{1}{K_1 - K_2} \frac{\partial K_1}{\partial \eta}, \quad \frac{1}{A_2} \frac{\partial A_2}{\partial \xi} = \frac{1}{K_1 - K_2} \frac{\partial K_2}{\partial \xi}. \quad (6)$$

Подставляя эти выражения в (5), найдем

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{A_1} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{A_2} \frac{\partial u}{\partial \eta} + w \frac{\partial u}{\partial \zeta} - \frac{uv}{A_2(K_1 - K_2)} \frac{\partial K_1}{\partial \eta} - \frac{v^2}{A_1(K_1 - K_2)} \frac{\partial K_2}{\partial \xi} = \\ = - \frac{1}{\rho A_1} \frac{\partial p}{\partial \xi} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial \zeta^2}; \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{A_1} \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{A_2} \frac{\partial v}{\partial \eta} + w \frac{\partial v}{\partial \zeta} + \frac{uv}{A_1(K_1 - K_2)} \frac{\partial K_2}{\partial \xi} + \frac{u^2}{A_2(K_1 - K_2)} \frac{\partial K_1}{\partial \eta} = \\ = - \frac{1}{\rho A_2} \frac{\partial p}{\partial \eta} + \nu \frac{\partial^2 v}{\partial \zeta^2}; \\ \frac{1}{A_1} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{1}{A_2} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{\partial w}{\partial \zeta} + \frac{u}{A_1(K_1 - K_2)} \frac{\partial K_2}{\partial \xi} - \frac{v}{A_2(K_1 - K_2)} \frac{\partial K_1}{\partial \eta} = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Дополнительные члены в уравнениях трехмерного пограничного слоя (7) совершенно не зависят от изменения главных кривизн K_1 и K_2 вдоль соответствующих линий кривизн ξ и η . В трехмерном пограничном слое будут оказывать влияние скорости изменения главных кривизн вдоль «дополнительных» линий кривизн $\partial K_1/\partial \eta$ и $\partial K_2/\partial \xi$. Из выражений (7) следует:

$$A_1 = C_1(\xi) \exp \left[- \int_0^\eta \frac{\partial K_1/\partial \eta}{K_1 - K_2} d\eta \right]; \quad A_2 = C_2(\eta) \exp \left[- \int_0^\xi \frac{\partial K_2/\partial \xi}{K_1 - K_2} d\xi \right],$$

где C_1 и C_2 — произвольные функции.

Если в рассматриваемой области поверхности главные кривизны мал и изменяются вдоль дополнительных линий кривизн

$$K_1(\xi, \eta) = \tilde{K}_1(\xi) + \delta\eta; \quad K_2(\xi, \eta) = K_2(\eta) + \Delta\xi,$$

где δ и Δ — малые величины, и если в этой области нет омбилических точек поверхности ($K_1 \neq K_2$), то

$$A_1(\xi, \eta) = C_1(\xi) \left(1 - \delta \int_0^\eta \frac{d\eta}{\tilde{K}_1 - K_2} \right) \cong C_1(\xi);$$

$$A_2(\xi, \eta) = C_2(\eta) \left(1 + \Delta \int_0^\xi \frac{d\xi}{\tilde{K}_1 - K_2} \right) \cong C_2(\eta).$$

В этом случае уравнения трехмерного пограничного слоя примут вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial \xi} + v \frac{\partial u}{\partial \eta} + w \frac{\partial u}{\partial \zeta} = - \frac{\partial p}{\partial \xi} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 u}{\partial \zeta^2};$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial \xi} + v \frac{\partial v}{\partial \eta} + w \frac{\partial v}{\partial \zeta} = - \frac{\partial p}{\partial \eta} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 v}{\partial \zeta^2};$$

$$\frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{\partial w}{\partial \zeta} = 0;$$

граничные условия:

при $\zeta = 0$ $u = v = w = 0$;

при $\zeta \rightarrow \infty$ $u = U(\xi, \eta)$; $v = V(\xi, \eta)$.

Таким образом, для класса поверхностей со слабым изменением главных кривизн вдоль дополнительных линий кривизн общие уравнения трехмерного пограничного слоя могут быть преобразованы к виду, по форме совпадающему с уравнениями трехмерного слоя для плоской пластинки.

Поступило
25 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. В. Струминский, ДАН, 54, № 7 (1946).
- ² В. В. Струминский, ДАН, 54, № 9 (1946).
- ³ F. K. Moore, J. Aeronautical Sci., 20, No. 8 (1953).
- ⁴ T. Levi-Civita, Allgemeine Folgerungen aus der Prandtlischen Grenzschichttheorie, Vorträge aus dem Gebiete der Aerodynamik und verwandten Gebiete, Aachen, 1927.
- ⁵ L. Howarth, Phil. Mag., 42, No 326 (1951).

В. М. АЛЕКСЕЕВ

ОБМЕН И ЗАХВАТ В ЗАДАЧЕ ТРЕХ ТЕЛ

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 26 I 1956)

§ 1. Пусть P_0, P_1, P_2 — система трех гравитирующих тел; m_i — масса тела P_i ; \mathbf{r}_i — его радиус-вектор; \mathbf{v}_i — скорость; $r_{ik} = |\mathbf{r}_{ik}| = |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_k|$; $\mathbf{v}_{ik} = |\mathbf{v}_{ik}| = |\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_k|$.

В системе имеет место захват, если при $t \rightarrow -\infty$ все $r_{ik} \rightarrow \infty$, при $t \rightarrow +\infty$ $r_{01} < c$, $r_{12}, r_{02} \rightarrow \infty$.

В системе имеет место обмен, если при $t \rightarrow +\infty$ $r_{02} < c$, $r_{12}, r_{02} \rightarrow \infty$, при $t \rightarrow -\infty$ $r_{01} < c$, $r_{12}, r_{02} \rightarrow \infty$.

В заметке строятся примеры обмена и захвата в случае $m_0 \gg m_1, m_0 \gg m_2$. Для простоты считается $m_0 = 1$, $m_1 = m_2 = m$. Результаты верны при $a < m_1/m_2 < A$. Доказывается, что в фазовом пространстве множества начальных данных, приводящих к захвату или обмену (как при положительной, так и при отрицательной константе энергии), имеют положительную меру. Тем самым окончательно опровергается утверждение Шази⁽⁴⁾ о невозможности захвата и обмена. Методы, применяемые в заметке, не используют численного интегрирования, как это делал Деккер⁽¹⁾ для обмена и О. Ю. Шмидт^(5, 3) для захвата. Использование теоремы m позволяет обойтись без больших скоростей, что было существенно в работе К. А. Ситникова⁽²⁾. В частности, именно это открывает возможность построения обмена при отрицательной константе энергии.

§ 2. В дальнейшем движение рассматривается в 18-мерном фазовом пространстве Φ . Точка x этого пространства — совокупность радиусов-векторов и скоростей

$$x = \{\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{v}_0, \mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2\}. \quad (1)$$

Обозначим $S_m^t x$ точку в Φ , в которую перейдет точка x через время t в системе, где масса малых тел равна m . При $m \rightarrow 0$ S_m^t переходит в S_0^t — идеальное движение, в котором P_1 и P_2 обращаются около P_0 по законам Кеплера. $S_0^t x$ регулярно на $(t_1; t_2)$, если для всех $t \in (t_1; t_2)$ траектории $S_0^t x$ все $r_{ik} \neq 0$. Из непрерывной зависимости решений от правых частей и начальных данных следует лемма:

Лемма 1. Если на интервале $t_1 < 0 < t_2$, конечном или бесконечном, $S_0^t x^0$ регулярно, то $S_0^t x^0 = \lim_{\substack{m \rightarrow 0 \\ t \rightarrow t^0}} S_m^t x$ для всех $t \in (t_1; t_2)$.

Везде в дальнейшем мы считаем центр тяжести системы неподвижным, так что в идеальной системе тело P_0 , совпадающее с ним, неподвижно. Интеграл энергии системы имеет вид (гравитационная постоянная равна 1)

$$h = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} + \frac{v_0^2}{2} - \frac{m}{r_{01}} - \frac{m}{r_{02}} - \frac{m^2}{r_{12}}. \quad (2)$$

Легко убедиться, что, если v_1 и v_2 ограничены, то v_0 есть $O(m)$, а

поэтому при $m \rightarrow 0$

$$\frac{h}{m} \rightarrow \left(\frac{v_1^2}{2} - \frac{1}{r_{01}} \right) + \left(\frac{v_2^2}{2} - \frac{1}{r_{02}} \right) = h_1^0 + h_2^0 = h^0. \quad (3)$$

Величины $h_i^0 = \frac{1}{2} v_i^2 - 1/r_{0i}$, $i = 1, 2$, естественно назвать относительными энергиями тел P_i . Тело P_i движется в идеальной системе относительно P_0 по эллипсу, гиперболе или параболе, если $h_i^0 < 0$, > 0 , $= 0$ соответственно.

Когда $m > 0$, h_i^0 уже не будут интегралами движения, но, тем не менее, иногда они и в этом случае определяют поведение r_{ik} при $t \rightarrow \infty$.

Теорема 1. Пусть $S_0^t x^0$ регулярно для $t > 0$. Если

а) $h_1^0(x^0) > 0$, $h_2^0(x^0) > 0$

или

б) $h_1^0(x^0) > 0$, $h_2^0(x^0) < 0$,

то существуют такие m_0 и δ_0 , что при $m < m_0$ и $|x - x_0| < \delta_0$ движение $S_m^t x$ при $t \rightarrow \infty$ будет гиперболическим (все $r_{ik} \rightarrow \infty$) в случае а) и эллиптически-гиперболическим ($r_{02} < c$, $r_{12}, r_{01} \rightarrow \infty$) в случае б).

Доказательство основывается на том, что в силу леммы 1 и условий а) или б) для $m < m_0$, $|x - x_0| < \delta_0$ и достаточно больших t в точках $S_m^t x$ удовлетворяются условия леммы Г. Ф. Хильми⁽³⁾ в случае а) или леммы К. А. Ситникова⁽²⁾, теорема 2) в случае б). Приводим их формулировки.

Пусть $\sigma(t) = \min \{dr_{ik}/dt\}$; $\rho(t) = \min r_{ik}$; $r(t)$ — расстояние от P_0 до центра тяжести P_1 и P_0 , $s_0 = r(0)$; $v_0 = dr/dt|_{t=0}$, $M^{**} = (\sum m_i m_j) / \min \left\{ \frac{m_i m_j}{m_i + m_j} \right\}$; k — константа тяготения.

Лемма 2. (Хильми). Если $\sigma(0) > 0$, $\rho(0) > M^{**}/\sigma(0)^2$, то при $t \rightarrow \infty$ все $r_{ik} \rightarrow \infty$.

Лемма 3 (Ситников). Если $s_0 v_0^2 > 24k[m_0 + m_1 + m_2]$ и

$$\frac{16\sqrt{2}m_0m_1m_2k^{3/2}}{(m_0 + m_1)^{1/2}v_0s_0^{3/2}} + \frac{km_0m_1}{s_0} < \frac{km_0m_1}{r_{01}(0)} - \frac{mm_1^2v_{01}^2(0)}{2(m_0 + m_1)},$$

то для $t > 0$, $r_{12} < s_0$, $\rho > s_0 + \frac{1}{2}v_0t^*$.

Следствие. Если $S_0^t x^0$ регулярно для всех t , то характер $f_m^t x$ при достаточно малых m будет одинаков при $t \rightarrow \pm \infty$. Поэтому захват или обмен нужно искать в окрестности траектории $S_0^t x^0$ с точками нерегулярности.

Замечание. Вопрос о возможности установить аналог теоремы для случая

в) $h_1^0 < 0$, $h_2^0 < 0$

очень интересен, но значительно сложнее.

§ 3. Разрывным решением идеальной системы назовем траекторию $\hat{S}_0^t x_0$, удовлетворяющую условиям:

1) $\hat{S}_0^t x$ — регулярное решение идеальной системы, кроме изолированных точек $\{t_k\}$ нерегулярности;

2) в точках t_k

а) $r_0(t_k + 0) = r_0(t_k - 0)$; $v_0(t_k + 0) = v_0(t_k - 0)$;

б) $r_1(t_k + 0) = r_1(t_k - 0) = r_2(t_k + 0) = r_2(t_k - 0)$;

в) $v_1 + v_2|_{t_k+0} = v_1 + v_2|_{t_k-0}$;

г) $|v_1 - v_2|_{t_k+0} = |v_1 - v_2|_{t_k-0}$.

* В работе Ситникова дано доказательство для $m_0 = m_1 = m_2 = 1$, но выкладки почти не изменяются и в общем случае.

Условие (4) — это условие непрерывности радиусов-векторов, сохранения энергии и сохранения общего импульса тел P_1 и P_2 .

Следующая теорема является основной в нашем методе построения примеров захвата и обмена.

Теорема 2. Пусть $\hat{S}_0^t x_0$ — разрывное решение идеальной системы на интервале $t_2 < 0 < t$, причем $t = 0$ — единственная точка нерегулярности и в ней не происходит тройного столкновения. Тогда существуют точки $\{x_m\}$ такие, что

$$\lim_{m \rightarrow 0} S_m^t x_m = \hat{S}_0^t x_0 \quad \text{для всех } t \neq 0 \text{ из } (t_1; t_2).$$

Доказательство. Положим

$$x_m = \{r_0, r + m\vec{\rho}, r - m\vec{\rho}, v_0, v + w, v - w\}, \quad (5)$$

где r_0 и v_0 — координаты и скорость P_0 при $t = 0$; r — точка соударения P_1 и P_2 ; $v = 1/2(v_1 + v_2)$ при $t = 0$ в $\hat{S}_0^t m$; $\vec{\rho}$ и w определим позднее. Обозначим $x_{T,m} = S_m^T x_m$.

Лемма 4. Если $|w|^2 - 16\rho^{-1} > 0$, то существуют пределы:

$$\begin{aligned} \text{а) } \lim_{T \rightarrow \infty} [\lim_{m \rightarrow 0} x_{T,m}] &= (r_0, r, r, v, v + u_\infty^+, v - u_\infty^+) = x_+^0; \\ \text{б) } \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\lim_{m \rightarrow 0} \frac{r_{12}(x_{T,m})}{|r_{12}(x_{T,m})|} \right] &= r_+^0; \\ \text{в) } \lim_{T \rightarrow \infty} [\lim_{m \rightarrow 0} v_{12}(x_{T,m})] &= u_\infty^+ = u r_+^0; \\ \text{г) } \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\lim_{m \rightarrow 0} \frac{r_{12}(x_{T,m})}{m} \right] &= \infty \end{aligned} \quad (6)$$

причем внутренний предел конечен).

Аналогичные пределы $(x_-^0, r_-^0, u_\infty^-)$ существуют при $T \rightarrow -\infty$.

Доказательство леммы осуществляется заменой переменных

$(r_0, r_1, r_2, v_0, v_1, v_2)$ и t переменными $\xi = (r_0, r, \vec{\rho}, v_0, v, w)$ и τ согласно формулам $t = m\tau$, $r_1 = r + m\vec{\rho}$, $r_2 = r - m\vec{\rho}$, $v_1 = v + w$, $v_2 = v - w$. При такой замене S_m^t переходит в \tilde{S}_m^t , а точки x_m — в одну и ту же точку ξ .

Можно показать, что при $m \rightarrow 0$ $\tilde{S}_m^t \rightarrow \tilde{S}_0^t$, где \tilde{S}_0^t оставляет r_0, r, v_0 неизменными, а $\vec{\rho}$ и w преобразует в соответствии с законами Кеплера при движении двух тел Q_1 и Q_2 массы $M = 8$, расположенных в точках $\vec{\rho}$ и $-\vec{\rho}$ и имеющих скорости w и $-w$. Так как $w^2 - 16\rho^{-1} > 0$, то движение тел Q_1 и Q_2 гиперболическое. При этом асимптоты гипербол имеют направления r_+^0 и r_-^0 , скорости же тел Q_1 и Q_2 на бесконечности равны $u_\infty^+, -u_\infty^+$ для $\tau \rightarrow +\infty$ и $u_\infty^-, -u_\infty^-$ для $t \rightarrow -\infty$.

Выберем теперь $\vec{\rho}$ и w в (5) так, чтобы $u_\infty^+ = v_{12}(+0)$, $u_\infty^- = v_{12}(-0)$, т. е. чтобы $x_+^0 = \lim_{t \rightarrow +0} \hat{S}_0^t x_0$, $x_-^0 = \lim_{t \rightarrow -0} \hat{S}_0^t x_0$. В силу теории задачи двух тел это всегда возможно.

Лемма 5. Для любого $\varepsilon > 0$ найдутся такие T_0 и τ , что для всех $T > T_0$ и $m < m_0(T)$ для $t \in [Tm; \tau]$ $|S_m^t x_m - \hat{S}_0^t x_+^0| < \varepsilon$.

Для доказательства этой леммы сначала устанавливается при помощи леммы 4, что для $T > T_1$, $m < m_1(Tm)$ и $T < t < \tau$ $dr_{12}(S_m^t x_m)/dt > V > 0$. После этого применением оценок зависимости решения от правых частей и начальных данных доказывается утверждение леммы. Теорема 2 легко следует из лемм 1 и 5.

Следствие. Пусть мы построили разрывное решение $\hat{S}_0^t x$ с обменом или захватом, удовлетворяющее условиям теоремы 2. По доказанному $S_m^t x_m \rightarrow \hat{S}_0^t x$. В силу теоремы 1 при достаточно малом t и на траектории $S_m^t x_m$ мы получим обмен или захват. Но если на $S_m^t x_m$ в моменты t_1 и t_2 выполняются условия лемм 2 или 3, то, оставляя t фиксированным и мало изменяя начальные данные, мы не нарушим этих условий. Значит, обмен и захват будут иметь место на множестве положительной меры — целой окрестности точки x_m . Таким образом, нам остается построить $\hat{S}_0^t x$ с обменом или захватом.

§ 4. Построение $\hat{S}_0^t x$. Зададим произвольно \mathbf{r}_0 — положение P_0 и $\mathbf{r} \neq \mathbf{r}_0$ — точку соударения P_1 и P_2 ; P_0 будем считать неподвижной: $\mathbf{v}_0 = 0$. Обозначим $\mathbf{v} = \frac{1}{2}(\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2)|_{t=0}$, $\mathbf{u}_i^+ = \mathbf{v}_i - \mathbf{v}|_{t=+0}$, $\mathbf{u}_i^- = \mathbf{v}_i - \mathbf{v}|_{t=-0}$. По условию (4) $|\mathbf{u}_i^\pm| = u = |\mathbf{v}_{12}|$. Пусть $c_0 = 2^{1/2} |\mathbf{r} - \mathbf{r}_0|^{-1/2}$ — параболическая скорость в точке \mathbf{r} относительно \mathbf{r}_0 . Так как $h_i = \frac{1}{2} [u_i^2 - 2/r_{i0}] = \frac{1}{2} [v_i^2 - c_0^2]$, то мы будем иметь дело с захватом, если

$$|v_1^+| > c_0, \quad |v_2^+| < c_0, \quad |v_1^-| > c_0, \quad |v_2^-| > c_0, \quad (7)$$

и с обменом, если

$$|v_1^-| < c_0, \quad |v_2^-| > c_0, \quad |v_1^+| > c_0, \quad |v_2^+| < c_0. \quad (8)$$

Построим диаграмму скоростей. Опишем сферы радиуса c_0 с центром в начале координат и радиуса u с центром в конце вектора \mathbf{v} . Поскольку $u_1^+ + u_2^+ = 0 = u_1^- + u_2^-$ и $v_i^\pm = u_i^\pm + v$, то концы векторов \mathbf{u}_i^+ — это концы любого диаметра сферы радиуса u , а концы векторов \mathbf{u}_i^- — концы любого другого ее диаметра.

Чтобы можно было выбрать v_i^\pm в соответствии с (7) или (8), нужно лишь, чтобы для обмена эти две сферы пересекались и чтобы для захвата у сферы радиуса u был диаметр, концы которого лежат вне сферы радиуса c_0 . Легко также сосчитать, что $h^0 = h_1^0 + h_2^0 = u^2 + v^2 - c_0^2$. Поэтому для обмена необходимо $h^0 > -\frac{1}{4}c_0^2$, а для захвата $h^0 > 0$. Легко проверить, что для построения диаграмм с захватом или обменом эти условия и достаточны.

Для возможности применения теоремы 2 нужно еще, чтобы $t = 0$ была единственной точкой нерегулярности. Сколь угодно малым изменением диаграмм и точек \mathbf{r}_0 и \mathbf{r} этого всегда можно добиться. Таким образом, искомое $\hat{S}_0^t x$ построить можно, что и завершает построение примеров захвата и обмена.

В заключение считаю приятным долгом поблагодарить А. Н. Колмогорова, под руководством которого написана эта работа.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
5 VII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ L. Bekker, Monthly Notices, 80, No. 6, 590 (1920). ² К. А. Ситников, Матем. сборн., 32 (74): 3, 693 (1953). ³ Г. Ф. Хильми, Проблема н тел в небесной механике, Изд. АН СССР, 1951, стр. 75. ⁴ М. J. Chazy, J. Math. pure et appl., 8 (1929): Bull. Astr., 8, 403 (1932). ⁵ О. Ю. Шмидт, ДАН, 58, № 2, 213 (1947).

Академик АН БССР Н. С. АКУЛОВ

К ТЕОРИИ ФЕРРО-, ПАРА- И ФЕРРИМАГНЕТИЗМА

Проблема расчета атомных магнитных моментов выше и ниже точки Кюри в их взаимосвязи, с развитием нейтронографического анализа, когда стало возможным более детальное изучение магнитных моментов в сплавах, приобретает все более актуальное значение. Заметим, что атомные магнитные моменты в парамагнитном состоянии (μ_p), т. е. при $T > \theta$, в отличие от μ_f ($T < \theta$), зависят от n нелинейно.

Однако вместо магнитных моментов мы можем взять согласно формуле

$$\mu_p = \mu_B \sqrt{2S_p(2 + 2S_p)} \quad (1)$$

значения $2S_p$. Тогда, в соответствии с теорией, оказывается, что S_p линейно зависят от n , и может быть построена диаграмма $S_p(n)$, элементы которой состоят в основном из отрезков прямых линий как в ферромагнитной, так и в парамагнитной области.

Построение такого рода диаграммы, в отличие от диаграммы Слейтера Паулинга, дает возможность установить общие закономерности, связывающие атомные моменты выше и ниже точки Кюри. Развиваемая теория основана на учете эффекта захвата s -электронов d -электронами за счет обменного взаимодействия. Вероятность захвата Δn_d зависит от электронной концентрации n (т. е. от общего числа электронов в s - и d -зонах). Величина Δn_d может быть рассчитана различными методами. Повышая точность расчета Δn_d , мы получаем возможность количественного решения указанной выше проблемы. Переходя к расчету изменения числа d -электронов, заметим, что согласно спектроскопическим данным, в изолированных атомах от Cr ($n=6$) до Cu ($n=11$) по крайней мере один из s -электронов переходит в d -оболочку. То же самое мы имеем и в металлах. Что касается второго s -электрона, то он может лишь частично переходить в d -оболочку. Для учета вероятности этого перехода, так же как в предыдущем сообщении, мы должны установить число «правых» спинов n'_d и «левых» спинов n''_d и на основе этого рассчитать ds -взаимодействие. В атоме Cr мы имеем 5 правых спинов при полном отсутствии левых, т. е. $n''_d=0$. С увеличением n число левых спинов n''_d возрастает. При учете перехода одного из s -электронов в d -оболочку имеем $n_d = n - 1$ и

$$n''_d = (n - 1) - 5 = n - 6. \quad (2)$$

Согласно принципу Паули, заполненная группа из 5 правых d' -спинов (при $T < \theta$) не может затягивать новых s -электронов, в отличие от незаполненной группы левых. Чем больше число d -электронов в незаполненной группе (n''_d), тем больше их обменное взаимодействие с s -электронами. Таким образом, для вероятности перехода второго электрона в d -зону при $T < \theta$ согласно (2) находим

$$\Delta n''_d = \alpha (n - 6), \quad (3)$$

где α — коэффициент пропорциональности.

В соответствии с этой моделью, вычитая из полного числа правых спинов число левых, равное $n_d'' + \Delta n_d''$, согласно (3) и (2) будем иметь

$$2S_f = 5 - (1 + \alpha)(n - 6). \quad (4)$$

Величина α может быть определена или так, как было указано нами ранее, или на основе результатов зонной теории, согласно которой атомный момент обращается в нуль при электронной концентрации

$n_0 \approx 10,6$. В дальнейшем мы будем принимать как более точное значение

$$n_0 = 10,552. \quad (5)$$

Полагая $S_f = 0$ и определяя α через n_0 из (4), находим

$$2S_f = 5 \frac{n_0 - n}{n_0 - 6}. \quad (6)$$

Это выражение согласуется с уже найденным нами ранее для величины атомных магнитных моментов ниже точки Кюри. Вследствие простой пропорциональности в этом случае $\mu_f / \mu_B = 2S_f$.

Особенно важно отметить правило максимальных моментов,

на которое в менее общей форме было указано в предыдущей работе, что вершины треугольников $BA n_0$ и $B'A' n'_0$ (см. рис. 1) определяются условием*:

$$n_d'' = 1/2 n_d'. \quad (7)$$

Отсюда для величины магнитного момента в точке A имеем

$$\mu_{kr} = 2,5 \mu_B = 1/2 (\mu_{Cr})_{\max}, \quad (8)$$

а для электронной концентрации, соответствующей этой точке, получаем согласно (6), (5) и (8)

$$n_{kr} = 3 + 1/2 n_0 = 8,276. \quad (9)$$

Поскольку для сплавов и элементов при $n < n_{kr}$ разрушается группа 5 правых спинов (2-е основное правило), мы имеем здесь $d\mu/dn = \mu_B$. На основании этого при учете (8) находим линейную зависимость:

$$2S_f = \mu_f / \mu_B = 2,5 - (n_{kr} - n), \quad (10)$$

т. е. при $n \leq n_{kr}$ на основании (9) и (10)

$$2S_f = n - 1/2 (n_0 + 1). \quad (11)$$

* Это правило может быть обосновано путем применения метода орбиталей к соседним атомам.

Полученные соотношения для (7) и (11) дают количественное согласие с опытом для металлов от Cr до Ni и их сплавов при низких температурах.

При низких температурах имеет место сильное обменное взаимодействие одного из s -электронов с d -электронами. Вторым s -электрон (если не считать незначительного эффекта захвата Δn_d^1) практически остается свободным. При высоких температурах все электроны стремятся перейти на более высокие уровни. В результате устраняется энергетическая обособленность второго s -электрона. Таким образом, при высоких температурах второй s -электрон у атома Cr оказывается практически в тех же условиях, как первый s -электрон при низких температурах. Вероятность sd -взаимодействия со вторым s -электроном для атома Cr при $T > \theta$ может достигать значения

$$W = 2S_p - 2S_F \cong 1. \quad (12)$$

Действительно, в атоме Cr $2S_d = n - 2 = 4$; sd -взаимодействие с первым s -электроном $2S_F = 5$. Включение второго s -электрона в сферу дает sd -взаимодействия $2S_p = 6$. Итак, в указанных условиях $W \cong 1$. Однако по мере заполнения d -оболочки энергетическая обособленность второго s -электрона постепенно восстанавливается. Так например, в атоме Cu $n - 1 = 10$ электронов полностью заполняют d -оболочку, а второй s -электрон является валентным, энергетически не связанным с d -электронами. Вследствие этого можно ожидать линейного убывания W до $W = 0$ при переходе от $n = 6$ к $n = 11$. Опыт подтверждает этот выход, при этом для $n'_0 = (n)_{S_p=0}$ действительно получается величина, весьма близкая к значению $n = 11$ ($n'_0 = 10,85 \pm 0,15$).

Повторяя для второго электрона расчет, который был сделан для первого при выводе формулы (7), получаем

$$2S_p = (2S_p)_{Cr} \frac{n'_0 - n}{n'_0 - 6}, \quad (7')$$

где $(2S_p)_{Cr} \cong 6$.

Линия $A'B'$, идущая влево и вниз от точки A' , может быть найдена аналогично линии AB . Здесь также $d\mu/dn = \mu_B$. Однако, согласно правилу максимальных моментов, $(2S_p)_{kr} = \frac{1}{2}(2S_p)_{Cr}$.

На основании 1-го правила для $T > \theta$ имеем

$$(2S_p)_{kr} = 3 \quad (8')$$

(ибо для атома Cr $2S_p = 6$).

На основании (7') и (8') будем иметь (при нестабильной d'' -группе)

$$2S_p = n - n'_0 + 5.$$

При нестабильности d' -группы имеем $d(2S_p)/dn = 1$. Таким образом, на основании (8'),

$$2S_p = 3 - (n'_{kr} - n). \quad (12')$$

Здесь n'_{kr} согласно (8') и (7') равно 8,5.

Для атома железа отсюда имеем

$$(2S_p)_{Fe} = 2,5, \quad (13)$$

что хорошо согласуется с экспериментальными данными Фалло. Из (11) и (5), кроме того, имеем

$$(\mu_f)_{Fe} = 2,22. \quad (14)$$

Эксперимент дает 2,22.

Таким образом, знание одного, единственного параметра n_0 позволяет весьма точно определить значения μ_j и для других элементов. Величина этого параметра при этом приближенно определяется из зонной теории.

Мы получим таким образом диаграмму $S(n)$, которая в основных своих частях количественно согласуется с опытом и, кроме того, позволяет предсказать значения магнитных моментов выше точки Кюри для различных сплавов. Поэтому дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования в этой области представляют значительный интерес.

Мы не затрагиваем здесь вопроса об «аномалиях», т. е. об отступлениях от прямолинейной зависимости $2S(n)$. Они могут быть обусловлены ролью упорядочения, как например в сплавах Ni—Mn. Здесь «встреча» атомов Mn с Mn дает другое значение моментов.

Известные изменения в общие закономерности может внести также изменение типа и параметра решетки, например в сплавах Fe—Co. Кроме того необходимо учитывать также некоторую размытость кривой вблизи вершин A и A_1 , обусловленную флуктуациями электронных концентраций. Наконец, необходимо учитывать возможность ответвлений не только от точки A , но и ферромагнитных ответвлений от других точек (например Fe, Ni и др.).

Все эти детали представляют значительный интерес для дальнейшего развития теории и уточнения S -диаграммы. В связи с этим уже сейчас можно установить следующие правила ферро- и ферри-магнитных сплавов.

Тенденцию к образованию ферри-магнитных ответвлений от линий An_0 и AB имеют элементы с $n < n_k$ (т. е. с неустойчивой группой из пяти d' -электронов). Чем дальше при этом отстоит элемент от n_k влево, тем больше его способность к образованию ответвления. К числу таких элементов принадлежит Cr. Примером этого могут служить ветви FeCr, CoCr и NiCr.

Из элементов с $n < n_{kr}$ наименьшей нестабильностью группы d' обладает Fe, что объясняет наличие ферромагнитных сплавов FeCo с большими μ на линии An_0 справа от n_k . На втором месте по устойчивости d' -группы стоит Mn и на третьем Cr. Этим объясняется наличие небольшой ферромагнитной ветви NiMn, лежащей на линии An_0 . С увеличением содержания Mn имеет место тенденция к образованию ферри-магнитных ветвей. При этом для повышения устойчивости d' -группы данного атома его необходимо окружить атомами с $n > n_k$ (3-е правило).

Данная здесь модель приводит к выводу, что, в согласии с идеями Нееля и Зинера, ферри-магнитные элементы должны лежать не на главных линиях, т. е. не на An_0 и BA , но на указанных выше побочных ответвлениях. Так например, участок Fe—Co, идущий от Fe к A , не является ферри-магнитным, ибо для Co $n > n_{kr}$. Однако при растворении в Fe элемента $n < n_k$, например Cr, имеет место тенденция к образованию ферри-магнитной ветви Fe—Cr.

Эти следствия согласуются с данными нейтронографического анализа.

Поступило
31 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Акулов, ДАН, 105, № 5 (1955).

Я. С. БОБОВИЧ и В. М. ПИВОВАРОВ

О ВЛИЯНИИ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ЛИНИЙ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

(Представлено академиком А. Н. Терениным 19 XII 1955)

1. Если пренебречь небольшими возможными изменениями матричных элементов координаты, вызванными появлением механической ангармоничности вследствие межмолекулярного взаимодействия, то влияние последнего на интенсивность линий комбинационного рассеяния первого порядка должно целиком описываться поведением квадрата первой производной поляризуемости по нормальной координате q для ее равновесного значения. Согласно М. В. Волькенштейну ⁽¹⁾, для отдельного электронно-колебательного перехода первая производная поляризуемости может быть записана в виде

$$\left(\frac{\partial \alpha}{\partial q}\right)_0 \sim \frac{\nu_e^2 + \nu^2}{(\nu_e^2 - \nu^2)^2} (P_{0e})^2 \left(\frac{\partial \nu_e}{\partial q}\right)_0, \quad (1)$$

где ν_e — частота актуального для данной комбинационной линии электронно-колебательного виртуального перехода; P_{0e} — соответствующий этому переходу матричный элемент дипольного момента; ν — частота возбуждающего света. Так как в морзевском приближении $(\partial \nu_e / \partial q)_0 \sim a'^2 D' q'$ (a' и D' — постоянные функции Морзе для возбужденного электронного состояния; q' — изменение равновесного расстояния в возбужденном электронном состоянии по сравнению с нормальным), то развернутое выражение для $d\alpha/dq$ имеет вид

$$\left(\frac{\partial \alpha}{\partial q}\right)_0 \sim a'^2 D' q' (P_{0e})^2 \frac{\nu_e^2 + \nu^2}{(\nu_e^2 - \nu^2)^2}. \quad (2)$$

Чтобы судить о возможных изменениях интенсивности линий комбинационного рассеяния, необходимо проследить за поведением всех множителей, входящих в (2), на основе анализа электронно-колебательного спектра исследуемого вещества. При этом нужно иметь в виду следующее. Параметры a' и D' функции Морзе характеризуют форму верхней потенциальной кривой. Их вероятное изменение повлечет за собой смещение максимума ν_e актуальной электронноколебательной полосы. С другой стороны, так как $2a'^2 D'$ равно k' — упругой постоянной колебания молекулы в возбужденном электронном состоянии, то деформация потенциальной кривой обязательно найдет свое отражение и в изменении контура (полуширины) электронноколебательной полосы. q' — относительное равновесное расстояние также, разумеется, определяет частоту перехода ν_e . Оно, в принципе, может измениться за счет одновременного смещения нижней и верхней потенциальных кривых, однако, вернее предположить преобладающую роль последней. Наконец, изменения $(P_{0e})^2$ означают не что иное, как ослабление или усиление электронно-колебательной полосы.

С ролью последнего фактора, так называемого резонансного знаменателя, очевидно, нужно считаться только в резонансной области (где ν_e — частота возбуждающего света — близка к частоте ν_e).

Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о значительных изменениях ультрафиолетовых спектров поглощения жидкостей в зависимости от их концентрации в смеси и от растворителя. Так например В. М. Чулановский и сотр. ^(2, 3) при исследовании некоторых полос спектра бензола, растворенного в гексане, этиловом спирте и воде наблюдали смещения, достигающие 185 см^{-1} по сравнению со спектром чистого бензола. Одновременно авторами констатированы также значительные изменения полуширины и интенсивности полос.

Из изложенного выше вытекает возможность концентрационных изменений интенсивностей в спектрах комбинационного рассеяния, показанные нами экспериментально ⁽⁴⁾.

Очень существенная особенность выражения (2) для производной поляризуемости состоит в следующем. Пусть при растворении исследуемого вещества происходит некоторое изменение параметров a' , D' и q' . Для определенности будем считать, что они увеличиваются, вследствие чего увеличивается и частота ν_e . Это допущение хорошо согласуется с опытными данными, в соответствии с которыми ν_e в спектре раствора, как правило, больше, чем в спектре чистого вещества. Тогда для области вне резонанса ($\nu \ll \nu_e$) это должно привести к усилению линии комбинационного рассеяния. В мере приближения к области резонанса (что может быть достигнуто варьированием возбуждающих линий) вступает в действие резонансный знаменатель, который, в силу конкуренции с параметрами a' , D' и q' , будет стремиться нейтрализовать эффект межмолекулярного взаимодействия.

Таким образом, исследованием концентрационного хода интенсивности вне и вблизи резонанса можно непосредственно проверить правильность точки зрения о роли параметров a' , D' и q' в интересующем нас отношении.

2. Нами исследовано вне и вблизи резонанса поведение интенсивности линии полносимметричного колебания группы NO_2 (ν_{NO_2}) в спектрах концентрированных растворов некоторых ароматических нитросоединений: нитробензола, *n*-нитротолуола, *n*-нитрофенола и *n*-нитранилина. Выбор объектов исследования оправдывается соображениями удобства проведения опытов: как известно ⁽⁵⁾, линия колебания группы NO_2 в ароматических нитросоединениях чрезвычайно интенсивна и, кроме того, резонансные условия для этих соединений реализуются уже в видимой области спектра.

Спектры возбуждались синей ($\lambda = 4358\text{ \AA}$) и зеленой ($\lambda = 5461\text{ \AA}$) линиями ртутной лампы низкого давления. Сравнивались интенсивности для двух концентраций вещества: весьма большой и ровно вдвое меньшей. В качестве внутреннего эталона, относительно которого производились измерения, была выбрана линия с частотой 1380 см^{-1} нафталина. При этом нами не учитывались некоторые (вообще говоря, небольшие) вариации интенсивности самой эталонной линии при изменении условий возбуждения, происходящие за счет резонанса. Растворители — бензол и ацетон. Для получения спектров применена светосильная фотоэлектрическая установка, описанная ранее ⁽⁶⁾. В отличие от ⁽⁶⁾, регистрация спектров производилась при помощи самописца. Для этой цели мы воспользовались стандартным электронным самописцем ЭППВ-51, включающим в себя усилитель постоянного тока.

В табл. 1, 2 и 3 приведены результаты исследования *n*-нитротолуола, *n*-нитрофенола и *n*-нитранилина.

Из данных таблиц видно, что вблизи резонанса при увеличении концентрации увеличивается также молярная интенсивность линий ν_{NO_2} . Это свидетельствует о влиянии смещения актуальной полосы ν_e в длинноволновую область, передаваемом резонансным знаменателем — об эффекте, который был ранее наблюден и объяснен П. П. Шорыгиным ⁽⁵⁾. Вместе с тем при возбуждении спектров зеленой линией $\lambda = 5461\text{ \AA}$ отчетливо обнару-

Таблица 1

Концентрационное поведение интенсивности линии ν_{NO_2} *n*-нитротолуола

Возбуждающая линия λ в Å	Концентрация	$I_{\text{н.т}} : I_{\text{нафт}}$		$\Delta(I_{\text{н.т}} / I_{\text{нафт}})$ средн. в %
		отдельн. измерения	средн.	
5461	Весьма большая	1,26; 1,26; 1,22; 1,34; 1,36; 1,30; 1,38; 1,27 1,37; 1,30; 1,30	1,30	3
	Вдвое меньшая	0,70; 0,67; 0,68; 0,70; 0,71; 0,74; 0,63; 0,67; 0,62; 0,65; 0,70; 0,72	0,68	4,4
4358	Весьма большая	1,79; 1,83; 1,71; 1,79; 1,73; 1,80; 1,80	1,78	1,7
	Вдвое меньшая	0,84; 0,83; 0,85; 0,82; 0,83; 0,80; 0,80	0,82	2

Таблица 2

Концентрационное поведение интенсивности линии ν_{NO_2} *n*-нитрофенола

Возбуждающая линия λ в Å	Концентрация	$I_{\text{н.ф}} / I_{\text{нафт}}$		$\Delta(I_{\text{н.ф}} / I_{\text{нафт}})$ средн. в %
		отдельн. изменения	средн.	
5461	Весьма большая	0,96; 0,94; 1,01; 0,98; 0,94; 1,04; 0,94	0,97	3
	Вдвое меньшая	0,69; 0,55; 0,64; 0,69; 0,64; 0,63	0,64	5
4358	Весьма большая	1,83; 1,84; 1,94; 1,85; 1,88; 1,82	1,86	1,6
	Вдвое меньшая	0,96; 0,96; 1,00; 0,98; 0,94; 0,94; 0,94	0,96	2

Таблица 3

Концентрационное поведение интенсивности линии ν_{NO_2} *n*-нитранилина

Возбуждающая линия λ в Å	Концентрация	$I_{\text{н.а}} / I_{\text{нафт}}$		$\Delta(I_{\text{н.а}} / I_{\text{нафт}})$ средн. в %
		отдельн. измерения	средн.	
5461	Весьма большая	0,62; 0,56; 0,53; 0,58; 0,58; 0,45; 0,55; 0,54; 0,57; 0,48; 0,48; 0,62; 0,54; 0,53; 0,50; 0,60; 0,60; 0,68; 0,60; 0,65	0,56	8,4
	Вдвое меньшая	0,64; 0,58; 0,66; 0,70; 0,60; 0,66; 0,61; 0,62; 0,64; 0,73; 0,73; 0,71; 0,70; 0,64	0,66	6
4358	Весьма большая	5,10; 4,6; 4,0; 4,4; 4,7; 5,1; 4,1; 4,2; 4,7; 5,1 4,3; 4,7; 4,5; 4,7; 4,7; 4,8; 4,2	4,6	6
	Вдвое меньшая	4,5; 4,4; 3,7; 3,8; 4,0; 4,4; 4,2	4,1	6,7

живается противоположный эффект: увеличение концентрации приводит к относительному ослаблению линий ν_{NO_2} . Объяснить этот последний факт, как нам кажется, можно лишь на основе сделанного выше предположения о конкуренции резонансного знаменателя с факторами a' , D' и q' .

В спектре *n*-нитранилина (табл. 3), возбужденном линией $\lambda = 5461\text{\AA}$, обращает на себя внимание на первый взгляд парадоксальный факт: при разбавлении раствора вдвое интенсивность линии ν_{NO} не ослабляется, как совершенно естественно можно было бы ожидать, а напротив, несколько усиливается. Это, повидимому, объясняется очень резким концентрационным смещением актуальной полосы ν_e , настолько резким, что оно перекрывает влияние уменьшения концентрации вещества. Возможно, что в данном случае большую роль играет также фактор (P_{oe}).

Таким образом, непосредственными измерениями нами показано, что межмолекулярное взаимодействие, по крайней мере концентрационного характера, действительно может передаваться через параметры потенциальных кривых возбужденных электронных состояний. Что касается предположения, сделанного ранее одним из нас (⁷), об определяющей роли этих же параметров в аномалии температурного хода интенсивностей рассеяния первого порядка, то этот вопрос нуждается еще в экспериментальном подтверждении. Заметим что появившиеся недавно (⁸) количественные данные температурных изменениях интенсивности обертона не противоречат нашему обобщению.

На целесообразность проведения настоящего исследования обратил наше внимание П. П. Шорыгин, которому авторы выражают глубокую благодарность.

Поступило
10 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. В. Волькенштейн, ЖЭТФ, 18, 44 (1948); М. В. Волькенштейн, М. А. Ельяшевич, Б. А. Степанов, Колебания молекул, 2, 1949, стр. 214.
² М. В. Чулановский, Т. Г. Мейстер, Е. Н. Струженская, Вестн. ЛГУ, № 2, 143 (1955). ³ В. М. Чулановский, Т. Г. Мейстер, О. В. Свердлов, Вестн. ЛГУ, № 8, 123 (1955). ⁴ Я. С. Бобович, Т. П. Тулуб, ЖЭТФ, 30, в. 1 (1956). ⁵ П. П. Шорыгин, Докторская диссертация, Физ.-хим. инст. им. Карпова, М., 1949. ⁶ Я. С. Бобович, Д. Б. Гуревич, ЖЭТФ, 27, 319 (1954). ⁷ Я. С. Бобович, Изв. АН СССР, сер. физ., 19, 219 (1955). ⁸ А. И. Стеханов, Э. В. Числер, ЖТФ, 25, 2209 (1955).

А. А. СОКОЛОВ и Б. К. КЕРИМОВ

О РАССЕЯНИИ БЕСПИНОВЫХ ЧАСТИЦ С УЧЕТОМ ЗАТУХАНИЯ

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 14 XII 1955)

1. Развивая работы (¹⁻³) по рассеянию частиц с учетом затухания, нам в (⁴) удалось найти эффективное сечение рассеяния дираковских частиц δ -образным неподвижным силовым центром. В настоящей статье мы обобщаем этот метод затухания на случай, когда рассеивающий неподвижный центр обладает сферической симметрией и малым радиусом действия.

Ограничиваясь в этой работе случаем, когда рассеивающие частицы являются релятивистскими, но бесспиновыми, мы преобразуем скалярное уравнение, описывающее их движение, к виду

$$\left(-\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial t} - V(r)\right) \psi = \chi, \quad (1)$$

$$\left(-\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial t} - V(r)\right) \chi + c^2 \hbar^2 \nabla^2 \psi - m_0^2 c^4 \psi = 0, \quad (2)$$

где потенциальная энергия и плотность заряда соответственно равны:

$$V(r) = L^{-3} \sum_{\vec{x}} V(x) e^{-i\vec{k} \cdot \vec{r}}, \quad (3)$$

$$\rho = \frac{1}{2} (\chi^\dagger \psi + \psi^\dagger \chi). \quad (4)$$

При помощи этой системы для коэффициентов C'' , характеризующих вероятность пребывания частицы в квантовом состоянии с импульсом $\hbar \mathbf{k}''$, мы получаем дифференциальные уравнения первого порядка. В случае отсутствия рассеивающего центра ($V(r) = 0$) решение волновых уравнений имеет вид

$$\psi = L^{-3/2} \sum_{\mathbf{k}''} \frac{1}{\sqrt{E''}} C'' e^{-i c \mathbf{k}'' t + i \mathbf{k}'' \cdot \mathbf{r}}, \quad \chi = L^{-3/2} \sum_{\mathbf{k}''} \sqrt{E''} e^{-i c \mathbf{k}'' t + i \mathbf{k}'' \cdot \mathbf{r}} C'', \quad (5)$$

где $E'' = c \hbar K'' = c \hbar \sqrt{k''^2 + k_0^2}$ — энергия частицы; L^3 — объем основного параллелепипеда.

Пусть в момент времени $t = 0$, когда частица находилась в состоянии \mathbf{k} :

$$C'' = \delta_{\mathbf{k} \mathbf{k}'}, \quad (6)$$

включается неподвижный силовой центр с потенциальной энергией $V(r)$. Тогда коэффициенты C'' в (5) будут функциями времени, для определе-

ния которых имеем уравнения, если особо выделим коэффициент C , характеризующий начальное состояние:

$$-\frac{1}{ic}\dot{C}' = \frac{1}{c\hbar L^3} \left(V(|\mathbf{k} - \mathbf{k}'|) e^{ict\Gamma'} C + \sum_{\mathbf{k}''} V(|\mathbf{k}'' - \mathbf{k}'|) e^{ict(\Gamma' - \Gamma'')} C'' \right); \quad (7)$$

$$-\frac{1}{ic}\dot{C} = \frac{1}{c\hbar L^3} \sum_{\mathbf{k}''} V(|\mathbf{k}'' - \mathbf{k}|) e^{-ict\Gamma''} C'' + \frac{V(0)}{c\hbar L^3} C.$$

Здесь $\Gamma' = K' - K$, $V(|\mathbf{k} - \mathbf{k}'|)$ — компоненты Фурье потенциала (1); $V(0) = V(x)$ при $x \rightarrow 0$. Отсюда видно, что система (7) не применима к кулоновскому центру (силе дальнего действия), так как в этом случае (см. ниже формулу (18)) $V(0)$ обращается в бесконечность. Компоненты $V(|\mathbf{k} - \mathbf{k}'|)$ разложим в ряд по полиномам Лежандра $P_l(\cos \vartheta')$:

$$V(|\mathbf{k}'' - \mathbf{k}'|) = \sum_{l=0}^{\infty} V_l''' = \sum_{l=0}^{\infty} b_l P_l(\cos \vartheta'''), \quad (8)$$

где ϑ''' — угол между векторами \mathbf{k}' и \mathbf{k}'' . Углы между вектором \mathbf{k} и векторами \mathbf{k}' и \mathbf{k}'' мы обозначим, соответственно, через ϑ' и ϑ'' .

Решение уравнений (7) будем искать в виде (см. также (4), уравнение (6))

$$C = e^{-c\beta_1 t + ict\beta_2}; \quad (9)$$

$$C' = \begin{cases} \frac{1}{c\hbar L^3} \frac{1 - e^{-c\beta_1 t + ict(\Gamma' + \beta_2)}}{\Gamma' + \beta_2 + i\beta_1} \sum_{l=0}^{\infty} \varepsilon_l V_l' & \text{при } |\Gamma'| < |\Gamma_0|; \\ 0 & \text{при } |\Gamma'| > |\Gamma_0|. \end{cases} \quad (10)$$

Тогда для определения величин ε_l , β_1 и β_2 будем иметь следующие уравнения (см. также (4), уравнения (9) и (10)):

$$\sum_{l=0}^{\infty} (\varepsilon_l - 1) V_l' = \frac{kK}{8\pi^2 c \hbar L^3} \sum_{l, l'=0}^{\infty} \varepsilon_{l'} \oint d\Omega'' V_l'' V_{l'}'';$$

$$\beta_1 - i\beta_2 = \frac{kK}{8\pi^2 c^2 \hbar^2 L^3} \sum_{l, l'=0}^{\infty} \varepsilon_{l'} \oint d\Omega'' V_l'' V_{l'}'' + i \frac{V(0)}{c\hbar L^3}, \quad (12)$$

где $d\Omega''$ — телесный угол вектора \mathbf{k}'' .

Воспользуемся далее формулами:

$$\oint d\Omega'' V_l''' V_{l'}'' = \frac{4\pi b_{l'}}{2l' + 1} V_l' \delta_{l'l}; \quad \oint d\Omega'' V_l'' V_{l'}'' = \frac{4\pi b_l b_{l'}}{2l' + 1} \delta_{l'l}. \quad (13)$$

Тогда для полного эффективного сечения упругого рассеяния находим значение

$$\sigma = \frac{1}{N} \frac{\partial}{\partial t} \sum_{\mathbf{k}'} C'^+ C' = \frac{4\pi}{k^2} \sum_{l=0}^{\infty} (2l + 1) \sin^2 \eta_l, \quad (14)$$

где

$$\sin^2 \eta_l = \frac{c_l^2}{1 + c_l^2}; \quad \varepsilon_l = \frac{1}{1 + ic_l}; \quad c_l = \frac{kK}{2\pi c \hbar} \frac{b_l}{2l + 1}, \quad (15)$$

а $N = N_0 C^+ C$ ($N_0 = \frac{ck}{L^3 K}$; $C^+ C = e^{-2c\beta_1 t}$) — число частиц с импульсом $\hbar \mathbf{k}$, падающих в единицу времени на единицу поверхности.

Определяя b_l из (8), мы находим для фазы парциальных волн:

$$c_l = \operatorname{tg} \eta_l = - \frac{\pi K}{c \hbar} \int_0^\infty r V(r) J_{l+1/2}^2(kr) dr, \quad (16)$$

где $J_{l+1/2}(kr)$ — функция Бесселя. При $c_l \ll 1$ фаза $\eta_l \cong \operatorname{tg} \eta_l$ совпадает с соответствующим выражением, найденным по методу возмущения ((5), стр. 43).

Из уравнения (12) находим:

$$c_{\beta_1} = \frac{\sigma N_0}{2}; \quad c_{\beta_2} = \frac{\sigma N_0}{2} \frac{\sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) \sin^2 \eta_l \operatorname{tg} \eta_l}{\sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) \sin^2 \eta_l} - \frac{V(0)}{\hbar L^3}. \quad (17)$$

Отсюда следует, что в любой заданный момент времени t

$$\sum_{k'} C'^+ C' + C^+ C = \int_0^t N \sigma dt + e^{-\sigma N_0 t} = 1.$$

2. Рассмотрим рассеяние бесспиновых частиц на потенциале вида Юкава:

$$V(r) = -g^2 \frac{e^{-\kappa_0 r}}{r}, \quad \text{т. е.} \quad V(x) = -\frac{4\pi g^2}{x_0^2 + x^2}. \quad (18)$$

Подставляя (18) в формулу (16), получим:

$$c_l = \operatorname{tg} \eta_l = \gamma Q_l(x), \quad (19)$$

где

$$x = 1 + \frac{\kappa_0^2}{2k^2}, \quad \gamma = \frac{g^2 K}{c \hbar k},$$

а функция $Q_l(x) = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 \frac{P_l(y) dy}{x-y}$ представляет собой сферическую функцию Лежандра второго рода.

Согласно (14) полное эффективное сечение равно

$$\sigma = \frac{4\pi}{k^2} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) \frac{\gamma^2 Q_l^2(x)}{1 + \gamma^2 Q_l^2(x)}. \quad (19')$$

В случае больших значений x ($\kappa_0 \gg k$) мы можем положить

$$Q_l(x) \cong \frac{\Gamma(l+1)}{\Gamma(l+3/2)} \frac{V\pi}{(2x)^{l+1}}. \quad (20)$$

В этом случае, вводя обозначение $\delta^2 = \frac{V^2(0) k^2 K^2}{4\pi^2 c^2 \hbar^2}$, имеем

$$\sigma = \frac{V^2(0) K^2}{\pi c^2 \hbar^2} \left(\frac{1}{1 + \delta^2} + \frac{4}{3} \frac{(k/\kappa_0)^4}{1 + \frac{4}{9} (k/\kappa_0)^4} + \dots \right). \quad (21)$$

Первый член соответствует $l=0$, второй $l=1$ и т. д.

Полагая $x_0^2 \rightarrow \infty$ и $V(0) \neq \infty$, мы найдем эффективное сечение для рассеяния δ -образным потенциалом, когда во всей сумме (19') остается лишь первый член ($l=0$), описывающий s -рассеяние. Это рассеяние было рассмотрено нами для дираковских частиц в предыдущей работе (4).

При помощи метода, изложенного в (6), мы можем функцию $Q_l(x)$ при больших значениях l представить в виде

$$Q_l(\operatorname{ch} \varphi) = \sqrt{\frac{\varphi}{\operatorname{sh} \varphi}} K_0 \left(\left(l + \frac{1}{2} \right) \varphi \right) \quad \text{при } x = \operatorname{ch} \varphi > 1; \quad (22)$$

$$Q_l(\cos \varphi) = -\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\varphi}{\sin \varphi}} N_0 \left(\left(l + \frac{1}{2} \right) \varphi \right) \quad \text{при } x = \cos \varphi < 1,$$

где N_0 и K_0 — известные цилиндрические функции от действительного и мнимого аргументов. Последнее асимптотическое представление функций $Q_l(x)$ позволяет определить эту функцию даже в точках $x = 1 \pm 0$. Тогда при $x = 1 + 0$ ($x_0 \ll k$) находим, переходя от суммирования по l к интегрированию по y ($y = l \sqrt{x^2 - 1}$), для эффективного сечения значение

$$\sigma = \frac{8\pi}{k^2} \frac{1}{x^2 - 1} \int_0^\infty \frac{\gamma^2 y K_0^2(y) dy}{1 + \gamma^2 K_0^2(y)}. \quad (23)$$

Отсюда видно, что затуханием мы можем пренебречь, если имеет место неравенство

$$\gamma^2 K_0^2(y_0) \ll 1, \quad \text{или} \quad \frac{1}{\gamma^2} \gg 3,725, \quad (24)$$

где $y_0 = 0,165$ соответствует максимуму функции $y K_0^2(y)$. Соответствующее же значение орбитального момента $l_0 = 0,165/\sqrt{x^2 - 1}$. Тогда:

$$\sigma \rightarrow \sigma_0 = 4\pi \left(\frac{g^2}{\hbar c} \right)^2 \frac{K^2}{k^4 (x^2 - 1)}. \quad (25)$$

Последнее соотношение может быть получено методом возмущения.

В другом крайнем случае, когда $\gamma^2 K_0^2(y_0) \gg 1$, затухание будет играть решающую роль. В этом случае для эффективного сечения получаем выражение

$$\sigma = \pi \left(\frac{z_0}{x_0} \right)^2, \quad (26)$$

где величина z_0 определяется из уравнения $\frac{z_0}{\pi \gamma^2} e^{z_0} = 1$ или $z_0 \sim \ln \pi \gamma^2$.

В этом случае при сравнительно больших энергиях $K \gg k_0$ эффективное сечение становится постоянным и соответствует рассеянию от непрозрачной сферы радиуса $R = z_0/x_0$.

Примечание при корректуре. Из формул (10), (14), (15) для дифференциального эффективного сечения упругого рассеяния следует выражение:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega'} = \frac{1}{k^2} \sum_{l, l'} \frac{c_l c_{l'} (1 + c_l c_{l'}) (2l+1) (2l'+1) P_l(\cos \theta') P_{l'}(\cos \theta')}{(1 + c_l^2) (1 + c_{l'}^2)}$$

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
8 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Соколов, J. of Phys. USSR, 5, 231 (1941). ² W. Heitler, Proc. Cambr. Phil. Soc., 37, 291 (1941). ³ A. H. Wilson, Proc. Cambr. Phil. Soc., 37, 301 (1941). ⁴ А. Соколов, Б. Керимов, ДАН, 105, № 5 (1955). ⁵ Н. Мотт, Г. Мессен, Теория атомных столкновений, ИЛ, 1951, стр. 43. ⁶ Д. Иваненко, А. Соколов, Классическая теория поля, М.—Л., 1951, стр. 273.

И. В. СТЕПАНОВ и П. П. ФЕДФИЛОВ

О ДВУХ ТИПАХ СПЕКТРОВ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ В ИСКУССТВЕННЫХ КРИСТАЛЛАХ ФЛЮОРИТА

(Представлено академиком А. Н. Терениным 6 XII 1955)

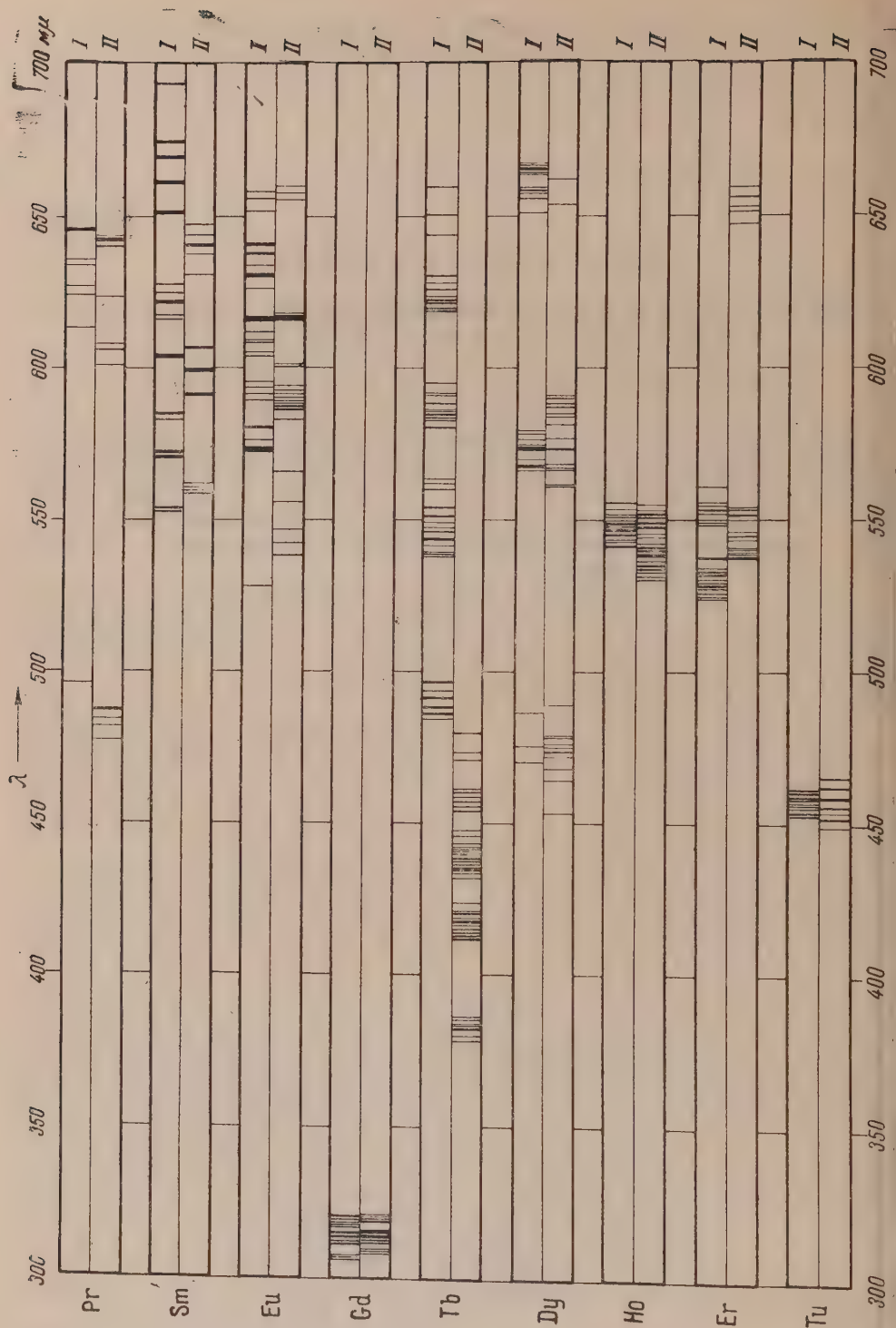
Трехвалентные ионы редких земель (TR) являются, как известно, хорошими активаторами кристаллофосфоров на основе фтористого кальция (CaF_2). Близость ионных радиусов Ca^{++} (1,04) и TR^{+++} (1,04—0,80) способствует изоморфному внедрению активатора в кристаллическую решетку CaF_2 , определяющему высокую интенсивность люминесценции и резкость линий в спектре излучения.

Исследуя люминесценцию искусственных монокристаллов флюорита (CaF_2), активированных редкими землями, мы установили, что один и тот же активатор обнаруживает в зависимости от условий выращивания и термической обработки кристалла спектры люминесценции, резко отличающиеся по числу и положению линий испускания. На существование двух типов спектров люминесценции кристаллов флюорита, активированных европием, мы указывали в предыдущей работе ⁽¹⁾. В настоящее время два типа спектров люминесценции обнаружены нами также у кристаллов, активированных празеодимом, самарием, гадолинием, тербием, диспрозием, гольмием, эрбием и тулием, т. е. всеми доступными редкоземельными элементами, обладающими линейчатыми спектрами люминесценции.

Монокристаллы флюорита выращивались по методу, разработанному одним из нас (И. В. С.) и близкому к методу Стокбаргера ⁽²⁾. При выращивании кристаллов, исследованных в настоящей работе, к исходной шихте (измельченные и подвергнутые специальной очистке кристаллы природного флюорита) добавлялось $\sim 10^{-4}$ г/г фторидов соответствующих редких земель. Решающим обстоятельством, определяющим тип спектра люминесценции, оказались окислительно-восстановительные условия, в которых получались образцы. Для создания сильно восстановительных условий, необходимых для устойчивого получения кристаллов, обладающих определенным спектром люминесценции (тип II, в статье ⁽¹⁾ условно назван «аномальным»), в шихту вводилось около 10^{-3} г/г графитового порошка. При этом некоторые редкоземельные элементы (Sm, Eu, Yb) частично восстанавливались до двухвалентного состояния. Кристаллы, обнаруживающие отличный спектр люминесценции (тип I, «нормальный»), получались посредством прокаливании выращенных кристаллов в открытом тигле при температуре 900—1000°. В некоторых случаях для получения кристаллов со спектром типа I было достаточно провести выращивание без добавления графита.

Общая картина спектров люминесценции кристаллов $\text{CaF}_2 \cdot \text{TR}$ изображена схематически на рис. 1. Спектры фотографировались на спектрографе с дифракционной решеткой, обладающем дисперсией около 6,5 Å/мм. Спектры практически не зависят от длины волны возбуждающего света и не меняются в процессе затухания (люминесценция исследованных кристаллов имеет фосфороскопическую длительность).

Как можно видеть из схемы рис. 1, характер спектра данной редкой зем-



ли — число и приблизительное положение групп линий — в общем сохраняется, однако в деталях спектры оказываются совершенно различными. Исключение составляют спектры $\text{CaF}_2 \cdot \text{Tb}$, у которого спектр типа II при сохранении общего характера смещен на $\sim 5800 \text{ cm}^{-1}$ в коротковолновую сторону. В качестве примера на рис. 2 приведены спектры зеленой группы линий люминесценции кристаллов, активированных эрбием, и ультрафиолетовой люминесценции кристаллов, активированных гадолинием.

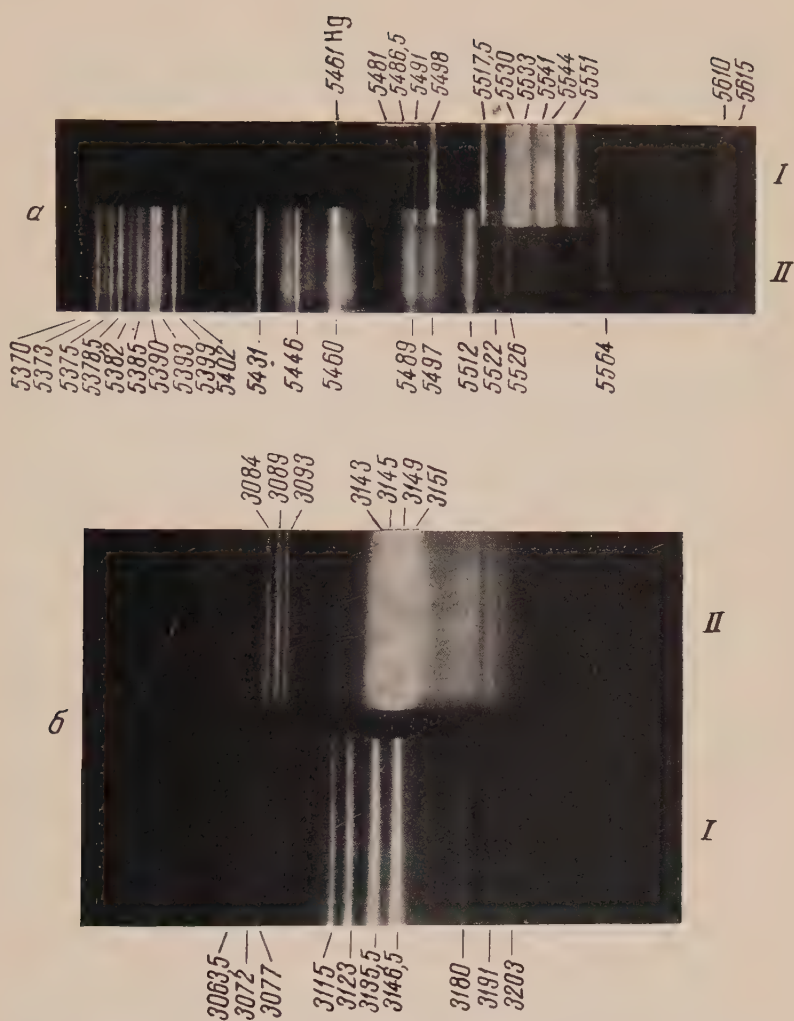


Рис. 2. Спектры люминесценции двух типов. *а* — $\text{CaF}_2 \cdot \text{Er}$, возбуждение Hg 365, -180° , *б* — $\text{CaF}_2 \cdot \text{Gd}$, возбуждение в искровом флуорескопе, $+20^\circ$

Спектры поглощения, а в некоторых случаях и области возбуждения люминесценции, обладающей спектрами различного типа, различны, что может привести при наличии в исследуемом образце центров обоих типов к ошибочному заключению о зависимости спектра люминесценции от длины волны возбуждающего света. С другой стороны, при наличии в кристалле центров двух типов в спектре люминесценции могут одновременно обнаруживаться линии, принадлежащие различным центрам. Это имело место, как мы отмечали (1), в спектре люминесценции $\text{CaF}_2 \cdot \text{Eu}$, полученном Чаттерджи (3).

Линейчатый характер спектров обоих типов и примерное постоянство спектральных областей, в которых расположены группы линий, не оставляют сомнения в том, что в обоих случаях мы имеем дело с трехвалентными ионами TR^{+++} . Различие в спектрах обусловлено, очевидно, различием в ближайшем окружении люминесцирующих ионов TR^{+++} , в локальной структуре люминесцирующих центров. При образовании смешанных кристаллов $\text{CaF}_2 \cdot \text{TRF}_3$ по типу изоморфного замещения ионов Ca^{++} ионами TR^{+++} необходима компенсация избыточного положительного заряда. Если, следуя Крегеру и Раисману (4), считать, что эта компенсация осуществляется в непосредственной близости от люминесцирующего иона (принцип локальной компенсации заряда), то можно высказать несколько предположений о возможной конфигурации ближайшего окружения иона, определяющей число и спектральное положение излучаемых линий.

Так, при выращивании кристаллов в присутствии следов кислорода или при прокаливании кристаллов на воздухе (спектры типа I) компенсация заряда может осуществляться путем замещения одного из восьми ионов F^- в координационной сфере, окружающей ионы TR^{+++} , ионом O^{--} . Возможность изоморфного замещения F^- на O^{--} обеспечивается близостью их ионных радиусов (1,33 и 1,36). Это предположение полностью согласуется с характером ориентации ионов Eu^{+++} в кристаллической решетке CaF_2 , установленным посредством исследования поляризации люминесценции (1). Как показало это исследование, устойчивость ориентации ионов Eu^{+++} относительно одного из четырех возможных направлений (оси симметрии третьего порядка) указывает на асимметрию координационной сферы, окружающей ионы. Нетрудно видеть, что замещение одного из ионов F^- на O^{--} приводит к появлению в окружении люминесцирующего центра выделенного направления — оси симметрии третьего порядка, определяющего ориентацию ионов Eu^{+++} (см. рис. 3).

Подобная компенсация заряда имеет, повидимому, место в кристаллах, получаемых в присутствии кислорода и обнаруживающих спектры типа I. Сказать что-либо определенное о характере компенсации в случае кристаллов, обнаруживающих спектры типа II, в настоящее время не представляется возможным. Не исключено, что в этом случае компенсация осуществляется за счет электронов или ионов F^- , локализуемых в непосредственной близости от центра люминесценции. Возможно также, что люминесцирующий центр представляет собой пару ионов TR^{+++} , изоморфно замещающих два соседних катионных узла. В этом случае компенсация избыточного заряда может осуществляться посредством катионной вакансии (отсутствие иона Ca^{++}), расположенной в одном из ближайших катионных узлов. При наличии примеси одновалентных катионов (например Na^+ , ионный радиус 0,98) возможна компенсация заряда посредством замещения одного из ионов Ca^{++} вблизи иона TR^{+++} одновалентным катионом. Разумеется, каждая из этих возможных конфигураций люминесцирующего центра должна обладать своим

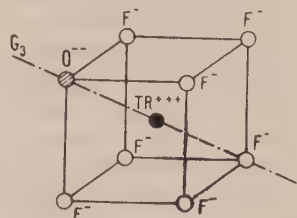


Рис. 3. Гипотетическая схема центра люминесценции типа I

характерным спектром люминесценции. Для решения вопроса о том, какая из этих возможностей реализуется в рассматриваемом случае (спектры типа II), необходимы дальнейшие исследования.

Мы наблюдали также изменения спектров люминесценции редких земель при прокаливании в открытом тигле кристаллов природного флюорита, всегда содержащих, как известно, большие или меньшие количества TR. Люминесценция непрокаленных кристаллов относительно слаба, и ее спектр состоит из ряда диффузных полос и сравнительно широких линий, не совпадающих по положению с более резкими линиями спектров I или II. У кристаллов, прокаленных в интервале температур 600—700°, происходит значительное увеличение яркости люминесценции, причем появляется ряд линий, отождествляемых как линии из спектров типа II (Er, Dy) и I (Sm). При дальнейшем повышении температуры прокаливания в интервале 900—1000° происходит второе изменение характера спектра: спектры всех редких земель, содержащихся в природном флюорите, становятся тождественными спектрам типа I, наблюдаемым у искусственных кристаллов флюорита, активированных редкими землями.

Авторы выражают глубокую благодарность М. А. Васильевой, принимавшей участие в выращивании кристаллов, и О. В. Соколовой, помогавшей при фотографировании спектров.

Поступило
22 XI 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ П. П. Феофилов, ДАН, 99, 731 (1954). ² D. Stockbarger, J. Opt. Soc. Am., 39, 731 (1949). ³ N. Chatterjee, Zs. f. Phys., 113, 96 (1939). ⁴ W. A. Runciman, Brit. J. Appl. Phys., 6, suppl. № 4, 78 (1955).

Е. Л. ФЕЙНБЕРГ и Д. С. ЧЕРНАВСКИЙ

ВЫСШИЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ В МЕТОДЕ САМОСОГЛАСОВАННОГО ПОЛЯ МЕЗОННОЙ ТЕОРИИ

(Представлено академиком И. Е. Таммом 6 XII 1955)

В сообщениях ^(1,2) был предложен и применен к проблеме дейтрона метод отделения собственной энергии, который можно считать методом самосогласованного поля мезонной теории. Однако при этом использовалось только одномезонное приближение. Учет следующих строчек фоковской волонки представляет интерес по следующим причинам.

а) Мы покажем, что применение метода ^(1,2) к проблеме взаимодействия двух покоящихся электрических зарядов ведет в однофотонном приближении к результату, отличному от закона Кулона. Именно, на расстоянии

порядка $r \simeq \frac{1}{2\beta} \sqrt{\frac{e^2}{2}}$ потенциал искажается. С другой стороны, известно, что в этой проблеме имеется точное решение (закон Кулона), совпадающее с классическим приближением и с первым приближением теории возмущений. Естественно встает вопрос: получится ли закон Кулона при учете всех высших приближений (далее будет показано, что это так). Вместе с тем член, который искажает закон Кулона в одноквантовом приближении и исчезает при учете высших порядков, в проблеме дейтрона является главным и обеспечивает устойчивость системы. В связи с этим необходимо выяснить, как сказываются высшие приближения в проблеме дейтрона.

Заметим, что поле скалярных фотонов, так же как и поле нейтральных скалярных мезонов отличаются тем, что операторы взаимодействия H_k коммутируют друг с другом при различных импульсах кванта k . Это и позволяет провести каноническое преобразование, ведущее к классическому результату. В других полях, где H_k содержит операторы σ и τ , коммутативность места не имеет. Мы покажем, что именно поэтому роль следующих приближений в методе ⁽¹⁾ существенно различна для кулоновского взаимодействия и для псевдоскалярного мезонного поля: в первом случае высшие приближения играют гораздо большую роль.

б) При учете следующих строчек применение дополнительного условия уже не так просто, как в первом приближении. Возникающие при этом вопросы требуют пояснения.

1. Кулоновское взаимодействие. Рассмотрим электрон в атоме водорода и применим к этому случаю систему уравнений в одноквантовом приближении, выведенную в ⁽¹⁾ (считая, что связь осуществляется скалярными нейтральными частицами массы нуль — «фотонами»):

$$\left\{ \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{1+a} \sum_k \frac{1}{2k\Omega} [g^2(k)k - 2eg(k)] \cos kr \right\} \Psi(r) = E\Psi(r), \quad (1)$$

$$g(k) = e[k + (\cos kr)^{-1} \bar{V}(1 + \cos kr)]^{-1}, \quad a = \sum_k \frac{1}{2k\Omega} g^2(k) (1 + \cos kr),$$

где m — теперь масса электрона; e — заряд электрона и \bar{V} — среднее значение энергии взаимодействия.

В этом случае нам известно, что

$$\Psi(r) = \frac{\beta^{3/2}}{\pi^{1/2}} e^{-\beta r}; \quad \beta = me^2. \quad (2)$$

Вычисляя средние, легко получим из (1) и (2)

$$g(k) = e \left\{ k + e^2 \beta \left[2 + \left(\frac{k}{2\beta} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{k}{2\beta} \right)^2 \right]^{-1} \right\}. \quad (3)$$

Выражение (3) отличается от значения $g(k) = e/k$, возникающего в теории возмущений и необходимого для получения кулоновского потенциала, вторым членом в знаменателе. Он становится сравнимым с первым членом при $k = 2\beta (1/2 e^2)^{-1/2}$, т. е. потенциал в (1) отступает от кулоновского на расстояниях $r \sim \frac{1}{2\beta} \left(\frac{1}{2} e^2 \right)^{1/2}$.

Рассмотрим теперь ту же проблему, учитывая бесконечно большое число фотонов. Удобно задаться функционалом в форме *

$$\Phi = \frac{1}{\mathfrak{H}} \prod_{k=0}^{\infty} [1 + g(k) H_k^+] \Phi_0. \quad (4)$$

Используя эту форму, получим выражение для потенциальной энергии электрона:

$$V(r) = \sum_k \frac{[g^2(k) k - 2eg(k)] (1 + \cos kr)}{(1 + g^2(k) \langle H_k^- H_k^+ \rangle) 2k\Omega}. \quad (5)$$

Применяя дополнительное условие ($V(\infty) = 0$) и учитывая, что с ростом Ω $g^2(k) \langle H_k^- H_k^+ \rangle \rightarrow 0$, легко получим

$$V(r) = \sum_k [g^2(k) k - 2eg(k)] \frac{\cos kr}{2k\Omega}. \quad (6)$$

Варьируя V по $g(k)$, находим: $g(k) = e/k$, что, в отличие от (3), полностью совпадает с теорией возмущений и приводит к закону Кулона.

Чтобы пояснить, как при переходе от однофотонного приближения к многофотонному возникает вместо (3) полученный результат, разложим (4) в ряд и ограничимся двумя членами (двухфотонное приближение):

$$\Phi = \frac{1}{\mathfrak{H}} \left(1 + \sum_k g(k) H_k^+ + \frac{1}{2} \sum_{k_1 k_2} g(k_1) g(k_2) H_{k_1}^+ H_{k_2}^+ \right) \Phi_0, \quad (7)$$

$$\mathfrak{H}^2 = 1 + a + \frac{1}{2} a^2, \quad a = \sum_k g^2(k) \frac{1 + \cos kr}{2k\Omega}.$$

Отсюда можно получить, что в однофотонном приближении в (6) добавляется лишний множитель $(1+a)^{-1} \sim 1 + O(e^2)$, а в двухфотонном этот множитель превращается в $(1+a)/(1+a+1/2 a^2) \sim 1 + O(e^4)$ (рост числителя погашает рост знаменателя), с ростом числа фотонов отклонение от кулоновского потенциала убывает.

* Здесь не учитывается корреляция квантов друг с другом (приближение Хартри). Задаваться таким Φ можно только, если $[H_{k_i}^+ H_{k_j}^+] = 0$; в противном случае необходимо указывать порядок сомножителей.

2. При некоммутирующих операторах (например в случае градиентной связи) это уже не так. Выбрав Φ в виде (7) (двухмезонное приближение), образуя среднее значение энергии взаимодействия и учитывая дополнительное условие, получим выражение, содержащее члены типа:

$$\sum_{\mathbf{k}_1} \sum_{\mathbf{k}_2} \langle H_{\mathbf{k}_1}^- H_{\mathbf{k}_2}^- H_{\mathbf{k}_1}^+ H_{\mathbf{k}_2}^+ \rangle g^2(\mathbf{k}_1) g^2(\mathbf{k}_2). \quad (8)$$

Очевидно, что этот член уже не равен $\left| \sum_{\mathbf{k}} \langle H_{\mathbf{k}}^- H_{\mathbf{k}}^+ \rangle g^2(\mathbf{k}) \right|^2$, а, ввиду коммутативности, всегда меньше последнего. Так, в случае градиентной связи

$$\begin{aligned} & \sum_{\mathbf{k}_1} \sum_{\mathbf{k}_2} \langle H_{\mathbf{k}_1}^- H_{\mathbf{k}_2}^- H_{\mathbf{k}_1}^+ H_{\mathbf{k}_2}^+ \rangle g^2(\mathbf{k}_1) g^2(\mathbf{k}_2) = \\ &= \frac{5}{9} \sum_{\mathbf{k}_1} \langle H_{\mathbf{k}_1}^- H_{\mathbf{k}_1}^+ \rangle g^2(\mathbf{k}_1) \cdot \sum_{\mathbf{k}_2} \langle H_{\mathbf{k}_2}^- H_{\mathbf{k}_2}^+ \rangle g^2(\mathbf{k}_2). \end{aligned} \quad (9)$$

Поэтому член, добавляющийся в числитель при учете двухквантовой флуктуации, здесь всегда меньше соответствующего члена в знаменателе (возникающего в одноквантовом приближении). Полной компенсации этих членов уже нет, и в знаменателе всегда остается член того же порядка, что и в одноквантовом приближении, лишь с несколько измененным числовым коэффициентом. На основании этого можно сказать, что в случае векторной связи учет следующих строчек не может привести к принципиальному, качественному изменению результата, полученного в одноквантовом приближении. Учет трехмезонных состояний не меняет более числового коэффициента при члене $\sim a$, а влияет лишь на член «второго порядка» ($a^2 \sim f^4$, где f — константа связи).

3. Дополнительное условие. Формы (4) или (7), которые до сих пор рассматривались, хороши тем, что член собственной энергии выделяется в виде общего множителя, но эти формы не являются самыми общими. В более общем случае в (7) коэффициент при двойной сумме равен не $1/2$, а некоторому варьируемому параметру c .

Образуя среднее значение, получим некоторое выражение, на которое нужно наложить дополнительное условие. Кроме членов, не зависящих от расстояния, в числителе имеются члены типа $\sum_{\mathbf{k}_1} g^2(\mathbf{k}_1) \varepsilon_{12} \cos \mathbf{k}_1 \mathbf{r} \times$

$\sum_{\mathbf{k}_2} [g^2(\mathbf{k}_2) \omega_{\mathbf{k}_2} - 2fg(\mathbf{k}_2)] \varepsilon_{11}$, где обозначено $\langle H_{\mathbf{k}}^- H_{\mathbf{k}}^+ \rangle = \varepsilon_{11}(\mathbf{k}) + \varepsilon_{12}(\mathbf{k}) \cos \mathbf{k} \mathbf{r}$ (произведение самодействия на взаимодействие). Последние, хотя и исчезают при $r \rightarrow \infty$, но при любом конечном r могут обратить энергию в бесконечность. Поэтому дополнительное условие в данном случае должно накладываться не при бесконечном удалении, а на каком-либо (большом по сравнению с радиусом действия сил) конечном состоянии. Именно, здесь должно быть $\Psi = (1 + \delta(r)) \exp(-\sqrt{\varepsilon M} r)$, где $\delta(r) \ll 1$. Подстановка в (1) показывает, что должно быть $V(r) \ll \varepsilon D$ или $\alpha r \gg 1$.

В \bar{V} встретятся члены типа

$$\sum_{\mathbf{k}_1} g^2(\mathbf{k}_1) \varepsilon_{11}(\mathbf{k}_1) \sum_{\mathbf{k}_2} [g^2(\mathbf{k}_2) \omega_{\mathbf{k}_2} - 2fg(\mathbf{k}_2)] \varepsilon_{12} \cos \mathbf{k}_2 \mathbf{r},$$

известно удовлетворяющие поставленному условию, так как при достаточно большом r сумма по \mathbf{k}_2 экспоненциально мала, а сумма по \mathbf{k}_1 не может дать бесконечность в \bar{V} , поскольку в знаменателе стоит аналогичная сумма в квадрате. Но кроме того в \bar{V} присутствуют члены типа

$$\sum_{\mathbf{k}_1} g^2(\mathbf{k}_1) \varepsilon_{12}(\mathbf{k}_1) \cos \mathbf{k}_1 \mathbf{r} \cdot \sum_{\mathbf{k}_2} [g^2(\mathbf{k}_2) \omega_{\mathbf{k}_2} - 2fg(\mathbf{k}_2)] \varepsilon_{11}(\mathbf{k}_2),$$

которые, согласно условию $V(r) \ll \varepsilon_D$ при $\alpha r \gg 1$, недопустимы потому, что сумма по \mathbf{k}_2 , представляющая собой собственную энергию нуклона, расходится сильнее, чем соответствующие суммы в знаменателе, и ведет к бесконечному V , несмотря на малость суммы по \mathbf{k}_1 . Такие члены следует включить в сумму, которая согласно тому же условию должна быть равна нулю.

4. Оценка вклада двухквантового состояния в проблеме дейтрона. Функционал выбирался в форме (7). Для целей оценки в V оставались только слагаемые, дающие наибольший численный вклад. Тогда

$$V \cong \sqrt{a} \frac{1 + \frac{5}{9}a}{1 + a + \frac{7}{18}a^2} \sum fg(\mathbf{k}) \varepsilon_{12} \cos \mathbf{k} \mathbf{r}. \quad (10)$$

Это выражение отличается от результатов одномезонного приближения, в котором перед суммой стоит $\sqrt{a}(1+a)^{-1}$. Варьирование по a дает в одномезонном приближении $a=1$, $\sqrt{a}(1+a)^{-1} = 1/2$, а в двухмезонном $a=1,3$. Примесь двухмезонного состояния невелика: она равна $\frac{7}{18}a^2/(1+a+\frac{7}{18}a^2) \approx 0,2$. Соответствующее изменение энергии взаимодействия сводится к изменению коэффициента перед суммой в (10) с 0,5 до 0,66.

В связи с этим результаты, полученные в (2), при учете двухмезонных состояний не должны подвергнуться качественным изменениям. Однако устойчивость дейтрона в (2) была получена при очень размытом минимуме энергетической кривой, когда зависимость взаимодействия от расстояния была лишь немного более пологой, чем при законе $\sim 1/r^2$. Поэтому желательно дальнейшее количественное уточнение результатов.

5. В ы в о д ы. Показано, что роль высоких приближений в методе (1,2) существенно зависит от свойств коммутативности операторов плотности энергии взаимодействия. В случае, когда операторы не содержат матриц σ и τ (кулоновское поле), одноквантовое приближение дает принципиально неверный результат (хотя при малом e^2 и близкий к верному). При учете следующих приближений получается обычный верный результат. В случае некоммутирующих операторов H_k одномезонное приближение охватывает основные особенности системы, и следующие приближения играют уже малую роль.

Показано, что дополнительное условие может быть эффективно использовано и в высших приближениях.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило
6 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. Л. Фейнберг, Д. С. Чернавский, ДАН, 103, № 3 (1955). ² Е. Л. Фейнберг, Д. С. Чернавский, ДАН, 103, № 4 (1955).

Б. М. ГРАЕВСКАЯ и Б. А. ОРЛОВ

**РАННИХ ИЗМЕНЕНИЯХ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ, ВЫЯВЛЯЕМЫХ
МЕТОДОМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ СПЕКТРОГРАФИИ, ПРИ ОБЩЕМ
ВОЗДЕЙСТВИИ РЕНТГЕНОВСКИМИ ЛУЧАМИ**

(Представлено академиком Л. А. Обрили 27 X 1955)

Внимание ряда исследователей, работающих в области радиобиологии, сосредоточено на наиболее ранних реакциях, возникающих в животном организме под влиянием ионизирующих излучений (¹⁻³). Выявление ранних изменений, определяющих те или иные стороны лучевой реакции, приближают нас к пониманию механизма лучевого поражения организма. Внимание исследователей в этих случаях было направлено прежде всего на обнаружение тех биологических систем, которые непосредственно поражаются ионизирующей радиацией. Кроме того, установление и изучение наиболее ранних изменений, наступающих в облученном организме, важно для ранней диагностики лучевых поражений.

В ряде работ установлено, что при воздействии ионизирующих излучений в животном организме, наряду с другими нарушениями, возникают значительные изменения в белковом обмене (⁴⁻⁶): происходят сдвиги альбумин-глобулинового коэффициента сыворотки крови, изменения содержания общего и остаточного азота крови, а также нарушение ферментативных процессов в органах и тканях, связанных с синтезом и ресинтезом белков.

Для выявления ранних изменений в белковом обмене, наступающих в живых животных, подвергнутых общему облучению, мы пользовались методом ультрафиолетовой спектрографии (рис. 1)*. Этот метод в последнее время успешно применяется для улавливания тонких сдвигов, наступающих в белковых и нуклеиновых соединениях (^{7,8}).

Параллельно со спектрографическим исследованием были произведены определения содержания в сыворотке крови облученных животных аминокислоты тирозина, максимум поглощения которого лежит в области 2800 Å. Работа была выполнена на 30 белых крысах, 5 кроликах и 12 собаках. Полученные данные оказались в основном однозначными.

Животные подвергались однократному общему воздействию рентгеновских лучей при следующих условиях: 190 кв, 20 ма, фильтр 0,5 мм Си и 1 мм Al, слой половинного ослабления 0,8 мм Си. Собаки облучались при фокусно-фокусном расстоянии 80—100 см и мощности дозы 6,5—11,0 г в минуту. Дозы радиации составляли: для собак 130, 500 и 1000 г; для кроликов — 1000 г и для крыс — 500 и 1000 г**.

У собак до облучения, непосредственно после облучения и затем на 2, 7, 21, 33—40 и 90 дни после облучения из арт. femoralis бралась для исследования кровь в количестве 3—5 мл.

Полученная сыворотка разводилась в 8 раз дистиллированной водой и спектрографировалась на спектрографе системы ИСП-22 в ультрафиолетовой области спектра. Максимум поглощения сыворотки крови нормальных животных лежит в зоне 2800—2920 Å.

6 собак подверглись воздействию рентгеновских лучей в дозе 1000 г.

* Спектральный анализ производился при помощи спектрографа ИСП-22 по методу Ротля — Бэлли. Обработка спектрограмм и построение кривых производились на основании закона Ламберта — Бееера. Каждая кривая отражает относительные изменения коэффициента поглощения сыворотки у нормальных и облученных животных.

** Указаны дозы на ближайшей к антикатоде поверхности тела животного.

Уже через 30 мин. после облучения в сыворотке животных наблюдалось резкое снижение максимума поглощения в области 2800—2920 Å (рис. 1, I). Существенно отметить, что при этой дозе радиации, вызывающей гибель животного, восстановления нормального спектра поглощения не происходило.

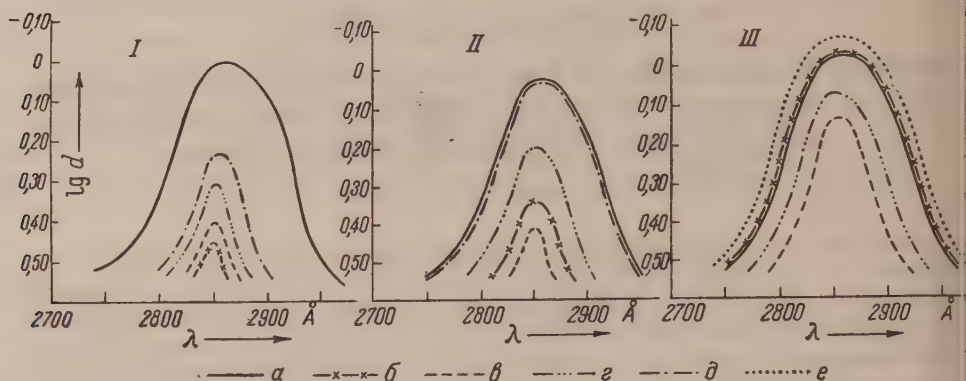


Рис. 1. Изменение спектра поглощения сыворотки крови собак, облученных рентгеновскими лучами I : 1000 г, II : 500 г, III : 130 г. а — до облучения, б — непосредственно после облучения, в — через 2 дня после облучения, г — через 6—10 дней после облучения, д — через 12—17 дней после облучения, е — через 30—33 дня после облучения

4 собаки были тотально облучены дозой 500 г (в наших условиях эта доза не вызывает гибели собак). Спектрографический анализ сыворотки крови таких собак показал, что сразу после облучения имеет место заметное снижение максимума поглощения в области 2800—2920 Å.

В последующие сроки оптическая плотность сыворотки крови достигала исходного уровня и к 10—15 дню после облучения спектры поглощения сыворотки крови нормальных и облученных 500 г животных уже более не различались (рис. 1, II).

Наконец, было исследовано на двух собаках влияние дозы 130 г. В сыворотке крови этих животных отчетливого снижения максимума поглощения в указанной зоне в ближайшие после облучения сроки обнаружить не удалось. Лишь на второй день после воздействия отмечено некоторое снижение поглощения сывороткой ультрафиолетовых лучей в области максимума. В последующие сроки наблюдаемые колебания не выходят за пределы нормы. Однако через 33 дня после облучения наблюдалось некоторое увеличение оптической плотности сыворотки крови в области максимума поглощения по сравнению с нормой, чего нам не удалось наблюдать при больших дозах радиации (рис. 1, III). Быть может, в этом случае сказывается компенсаторный эффект, который часто обнаруживается в отдаленные сроки после облучения небольшими дозами радиации и выражается, например, в активизации эритропоэза, повышении содержания гликогена в печени и т. п. Снижение максимумов поглощения было обнаружено также в сыворотке крови облученных кроликов и крыс.

Известно, что максимум поглощения в областях 2800—2920 Å сыворотки крови зависит в основном от наличия ароматических аминокислот (тирозина, фенилаланина и триптофана). Поэтому параллельно со спектрографическим исследованием мы производили определение содержания в сыворотке крови одной из наиболее биологически важных из числа этих аминокислот — тирозина. Определение тирозина производилось методом Цуверкалова. Результаты этих определений, представленные на рис. 2, показывают, что облучение дозами 1000 и 500 г уже сразу после воздействия приводит к существенному снижению содержания тирозина в сыворотке. В последующие сроки у выживших после облучения животных (доза 500 г) содержание тирозина постепенно восстанавливается до нормы. В то же время у животных, погибавших от дозы радиации 1000 г, не происходило

восстановления содержания тирозина. При относительно малых дозах радиации (130 г) снижение содержания тирозина в сыворотке в ближайшие сроки после облучения не отмечалось. Лишь на вторые сутки после облучения наблюдалось падение тирозина на 10%, чему соответствует наблюдаемое к этому времени снижение максимума поглощения сыворотки в зоне 2800—2920 Å. В то же время на 30—33 дня после облучения наступает резкое увеличение содержания тирозина.

Приведенные данные определения оптической плотности сыворотки крови нормальных и облученных животных в разные сроки после воздействия обнаруживают, таким образом, снижение максимума поглощения в области 2800—2920 Å. Это снижение имеет место как непосредственно после облучения, так и в последующие сроки и зависит от дозы радиации. Так, при дозе излучения 130 г наблюдается лишь небольшое снижение характерных максимумов, и то только на второй день после воздействия. В то же время в отдаленные после облучения сроки (30—33 дня) имеет место существенное превышение нормы. В отличие от этого при дозе радиации 500 г наблюдается весьма существенное снижение максимума поглощения, за которым следует постепенная его нормализация, а при смертельной дозе 1000 г после резкого снижения максимума поглощения никакого его восстановления до момента гибели животных не происходит.

Некоторый параллелизм между изменениями оптической плотности сыворотки и содержанием в ней тирозина позволяет предположить, что эти изменения принадлежат к числу ранних нарушений в белковом обмене, наступающих в облученном животном организме.

Обнаруженные нами сдвиги носят, по видимому, отраженный характер. Интересно отметить, что сдвиги в изолированной сыворотке крови могут быть получены при облучении сыворотки крови *in vitro* только при применении очень больших доз радиации (100 000 г и больше).

Изложенные результаты наших исследований указывают на возможность использования спектрографического метода для обнаружения ранних лучевых поражений.

Центральный рентгенологический,
радиологический и раковый институт
Министерства здравоохранения СССР

Поступило
26 X 1955

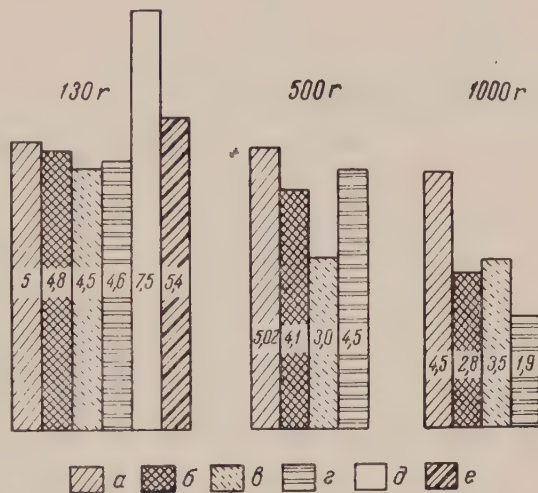


Рис. 2. Изменение содержания тирозина (в мг %) в сыворотке крови собак, облученных рентгеновскими лучами: а — до облучения, б — непосредственно после облучения, в — через 2 дня после облучения, г — через 6—10 дней после облучения, д — через 30—33 дня после облучения, е — через 48—60 дней после облучения

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. U. Rosenthal, Science, 110, No. 2845, 43 (1949). ² С. К. Dommelen, M. J. Schultze, Am. Biol. Clin., 6, № 12, 324 (1954). ³ Б. М. Тарусов, Основы биологического действия радиоактивных излучений, Медгиз, 1954. ⁴ Б. М. Граевская, Вестн. рентген. и радиол., 5, 9 (1953). ⁵ А. I. Kohn, Am. J. Physiol., 165, № 1, 27, 43 (1951). ⁶ Б. М. Граевская, в сб. Лечебное применение радиоактивного кобальта, 1955, стр. 36—37. ⁷ С. Е. Манойлов, Б. А. Орлов, Вестн. ЛГУ, 3, 138 (1950). ⁸ И. А. Анина и В. П. Вендт, Укр. биохим. журн., 26, 1, 21 (1954).

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Н. Х. АБРИКОСОВ и В. Ф. БАНКИНА

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЯ CrSb_2

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 16 XII 1955)

В системе хром — сурьма имеются два химических соединения: CrSb и CrSb_2 . Первое плавится с открытым максимумом при 1100° , второе разлагается по перитектической реакции при 676° . Соединение CrSb_2 с сурьмой образует эвтектику при 98% Sb, плавящуюся при $630,5^\circ$ ⁽¹⁾. Соединение CrSb имеет структуру никельарсенидного типа ⁽²⁾, соединение CrSb_2 — структуру марказита ⁽³⁾.

В настоящей работе были исследованы термоэлектрические свойства соединения CrSb_2 . В качестве исходных материалов применялись электролитический хром и сурьма марки Су-О, очищенная двухкратной дистилляцией и содержащая по данным спектрального анализа свинца около 0,01%, мышьяка около 0,1% и следы олова и меди. Были приготовлены сплавы с содержанием от 80 до 85% Sb, лежащие по обе стороны от состава, отвечающего соединению CrSb_2 . Для приготовления сплавов была использована лигатура, содержащая 30% Cr и 70% Sb.

Лигатура плавилась в корундизовых тиглях в высокочастотной печи под флюсом, состоящим из смеси хлористого натрия, хлористого калия и хлористого бария, взятых в равных весовых количествах. Сплавы готовились в силитовой печи под тем же флюсом прибавлением к лигатуре расчетного количества сурьмы.

После расплавления и тщательного перемешивания сплавы выливались в железную изложницу. Приготовленные образцы были цилиндрической формы и имели диаметр 10 мм и высоту около 20 мм. Электропроводность сплавов измерялась на потенциометре типа ПИТВ1. Термоэлектродвижущая сила определялась по отношению к меди при разности температур между горячим и холодным концами сплава около 20° .

Структура литых сплавов состояла из первично выделившихся кристаллов соединения CrSb и эвтектики, содержащей металлическую сурьму, и небольшого количества фазы, образовавшейся по перитектической реакции и отвечающей соединению CrSb_2 .

Для достижения равновесного состояния сплавы отжигались при 550° в течение 15 суток. Отжиг проводился в запаянных кварцевых ампулах. Исследование микроструктуры отожженных сплавов показало, что сплав с содержанием 82% Sb, лежащий близко к составу соединения CrSb_2 , имел однофазную структуру. Этот сплав имел минимальную электропроводность и максимальную термоэлектродвижущую силу, отрицательную по знаку (см. рис. 1).

Исследование температурной зависимости электропроводности и термоэлектродвижущей силы этого сплава показало увеличение электропровод-

Таблица 1
Температурная зависимость электропроводности и термоэлектродвижущей силы соединения CrSb_2

Т-ра в $^\circ\text{C}$	σ , $\text{ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	α , μ в $^\circ\text{C}$	Т-ра в $^\circ\text{C}$	σ , $\text{ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	α , μ в $^\circ\text{C}$
18	6,4	—81	248	22,2	—30
40	7,0	—58	273	23,9	—32
93	10,6	—47	348	30,1	—27
110	12,2	—43	396	34,8	—26
150	14,6	—40	437	43,6	—22

ности и уменьшение термоэлектродвижущей силы с увеличением температуры (табл. 1).

На графике, показывающем изменение логарифма электропроводности в зависимости от обратного значения абсолютной температуры (см. рис. 2) наблюдаются два прямолинейных участка — первый в интервале температур 40—350°, второй выше 350°. Ширина запрещенной зоны, отвечающая этим участкам, 0,16 и 0,32 эв. Возможно, что одно из этих значений отвечает химической связи между атомами сурьмы, другое — между атомами хрома и сурьмы в кристаллической решетке соединения CrSb_2 .

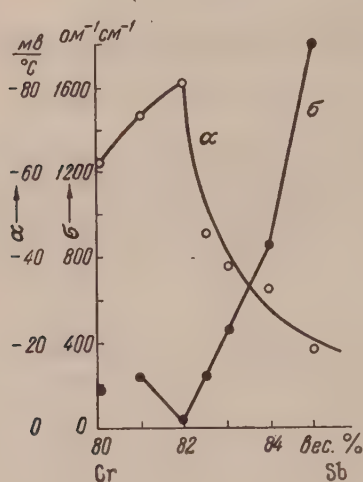


Рис. 1. Электропроводность ($\Omega\text{см}^{-1}$) и термоэлектродвижущая сила ($\mu\text{В}/^\circ\text{C}$) сплавов хрома с сурьмой после отжига 550°

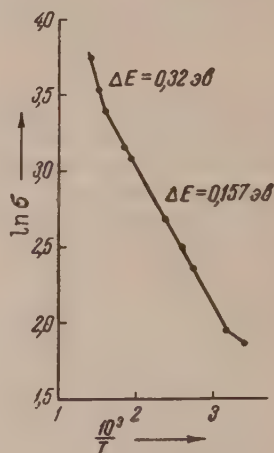


Рис. 2. Температурная зависимость электропроводности соединения CrSb_2 в координатах $\ln \sigma - \frac{10^3}{T}$

Проведенное исследование показало, что соединение CrSb_2 является химическим соединением полупроводникового типа.

Институт металлургии им. А. А. Байкова
Академии наук СССР

Поступило
9 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. Хансен, Структура бинарных сплавов, 1, 1941, стр. 524. ² Б. Ф. Омонт, Структура неорганических веществ, 1950, стр. 547. ³ Chem. Abstr., 43, 203 (1949).

Э. И. АДІРОВИЧ и В. Г. КОЛОТИЛОВА

ТЕОРИИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДАХ

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 21 XII 1955)

1. В ^(1,2) была найдена переходная характеристика транзистора

$$g(t) = \frac{w}{V\pi Dt^3} e^{-t/\tau} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} (2n-1) e^{-(2n-1)^2 w^2 / 4Dt}, \quad (1)$$

соответствующая коллекторному току, создаваемому единичным импульсом тока на эмиторе ($i_3 = \delta(t)$). Эта характеристика осуществляет преобразование эмиторного сигнала произвольной формы в коллекторный сигнал

$$i_k(t) = \int_0^t g(t') i_3(t-t') dt', \quad (2)$$

т. е. описывает связь между входом и выходом транзистора в режиме заземленной базы ⁽²⁾. Настоящая статья посвящена нахождению переходных характеристик транзистора при двух других режимах — с заземленным эмитором ($g_3(t)$) и с заземленным коллектором ($g_k(t)$).

2. Характеристики $g_3(t)$ и $g_k(t)$, выражающие, соответственно, коллекторный и эмиторный сигналы *, вызываемые δ -импульсом тока, подаваемого на базу, не могут быть получены в диффузионном приближении из уравнений кинетики электронных процессов в базе; для основных носителей нельзя в общем случае пренебрегать током проводимости. Кроме того, даже в плоскостных транзисторах движение основных носителей тока в базовом слое носит неоднородный характер. В усложнении расчета учет поля и неоднородности задачи нет, однако, необходимости, ибо до частот порядка 10^{10} гц λ значительно больше размеров транзистора, и поэтому для эмиторного, базового и коллекторного сигналов справедлив закон Кирхгофа

$$i_3(t) = i_6(t) + i_k(t). \quad (3)$$

При заданной форме базового импульса $i_6(t)$ функции $i_3(t)$ и $i_k(t)$ выражают соответственно токовые ответы, вызываемые этим импульсом на эмиторе и на коллекторе. Но базовый сигнал не оказывает непосредственного влияния на коллектор, поскольку для основных носителей заряда в базе на коллекторном переходе создан запирающий потенциальный барьер. Коллекторный ток $i_k(t)$ возникает в результате прохождения через базовый слой полупроводника эмиторного сигнала $i_3(t)$, создаваемого сигналом по напряжению, формирующим $i_6(t)$. Следовательно,

при любой схеме включения $i_k(t) = \int_0^t g(t') i_3(t-t') dt'$, и определение

* Индексы обозначают заземленный (общий для входа и выхода) электрод.

эмитторного сигнала по базовому сигналу сводится к решению интегрального уравнения

$$i_3(t) = i_6(t) + \int_0^t g(t') i_3(t-t') dt' \quad (4)$$

при заданном виде функции $i_6(t)$.

При $i_6(t) = \delta(t)$ эмитторный ток $i_3(t)$ равен $g_k(t)$ — переходный характеристике транзистора в режиме заземленного коллектора. Следовательно $g_k(t)$ определяется уравнением

$$g_k(t) = \delta(t) + \int_0^t g(t') g_k(t-t') dt'. \quad (5)$$

Переходя к изображениям $g(t)$ и $g_k(t)$ при помощи одностороннего преобразования Лапласа

$$\Phi(p) = \int_0^\infty g(t) e^{-pt} dt, \quad \Phi_k(p) = \int_0^\infty g_k(t) e^{-pt} dt \quad (6)$$

и используя теорему о свертывании (3), получаем из (5)

$$\Phi_k(p) = 1 + \Phi(p) \cdot \Phi_k(p). \quad (7)$$

Далее, согласно (3),

$$\Phi_3(p) = \int_0^\infty g_3(t) e^{-pt} dt = \int_0^\infty g_k(t) e^{-pt} dt - \int_0^\infty \delta(t) e^{-pt} dt = \Phi_k(p) - 1. \quad (8)$$

Из (7) и (8) находим, что

$$\Phi_k(p) = \frac{1}{1 - \Phi(p)}; \quad \Phi_3(p) = \frac{\Phi(p)}{1 - \Phi(p)}. \quad (9)$$

3. Для вычисления эмитторного и коллекторного токов по их изображениям (9) преобразуем $\Phi_3(p)$

$$\Phi_3(p) = \frac{\operatorname{sech} \sqrt{\frac{p + \frac{1}{\tau}}{D}} w}{1 - \operatorname{sech} \sqrt{\frac{p + \frac{1}{\tau}}{D}} w} = \frac{1}{2} \operatorname{sech}^2 \frac{1}{2} \sqrt{\frac{p + \frac{1}{\tau}}{D}} w. \quad (10)$$

Разлагая $\operatorname{sech} \frac{1}{2} \sqrt{\frac{p + \frac{1}{\tau}}{D}} w$ в ряд по экспонентам (4)

$$\operatorname{sech} \frac{1}{2} \sqrt{\frac{p + \frac{1}{\tau}}{D}} w = 2 \sum_{n=0}^{\infty} \exp \left[-(2n+1) \frac{1}{2} \sqrt{\frac{p + \frac{1}{\tau}}{D}} w \right], \quad (11)$$

находим непосредственным перемножением рядов, что

$$\Phi_3(p) = \frac{1}{2} \operatorname{sech}^2 \frac{1}{2} \sqrt{\frac{p + \frac{1}{\tau}}{D}} w = 2 \sum_{n=0}^{\infty} n \exp \left[-n \sqrt{\frac{p + \frac{1}{\tau}}{D}} w \right]. \quad (12)$$

Запись $\Phi_3(p)$ в виде ряда (12) позволяет теперь осуществить непосредственно по таблицам (5) почленный переход от изображения $\Phi_3(p)$ к оригиналу $i_k(t) = g_3(t)$

$$g_3(t) = \frac{w}{\sqrt{\pi D t^3}} e^{-t/\tau} \sum_{n=0}^{\infty} n^2 \exp \left[-\frac{n^2 w^2}{4 D t} \right]. \quad (13)$$

который в безразмерной форме $g_9(\xi) = \theta g_9(t)$ можно представить в виде ($\xi = t/\theta$, $\lambda^2 = \theta/\tau$, $i_0 = 1/\theta$, $\theta = \omega^2/4D$)

$$g_9(\xi) = \frac{2e^{-\lambda^2\xi}}{\sqrt{\pi}\xi^{3/2}} \sum_{n=0}^{\infty} n^2 e^{-n^2/\xi} = e^{-\lambda^2\xi} g_9^\infty(\xi), \quad (14)$$

где $g_9^\infty(\xi)$ соответствует $\tau = \infty$.

При малых временах ряд в формуле (14) быстро сходится, что позволяет аппроксимировать $g_9^\infty(\xi)$ начальными членами разложения.

На рис. 1 передний фронт переходной характеристики вплоть до начала плато построен путем аппроксимации ряда двумя первыми членами

$$g_9^\infty(\xi) = \frac{2}{\sqrt{\pi}\xi^{3/2}} (e^{-1/\xi} + 4e^{-4/\xi}). \quad (15)$$

С возрастанием ξ следует принимать в расчет все большее число членов, и при $\xi \rightarrow \infty$ становится невозможной аппроксимация $g_9^\infty(\xi)$ строкой. Мы можем, однако, определить значение $g_9^\infty(\xi)$ при всех ξ , не рассматривая старших членов разложения в (14). Анализ формулы (14) показывает, что $g_9^\infty(\xi)$ — монотонная функция времени. Запишем $g_9^\infty(\xi)$ в виде

$$g_9^\infty(\xi) = -\frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{\xi^{3/2}} \frac{d}{d(1/\xi)} \left(\sum_{n=0}^{\infty} e^{-n^2/\xi} \right). \quad (16)$$

При $\xi \rightarrow \infty$ ряд в (16) переходит в интеграл*

$$\begin{aligned} g_9^\infty(\xi) \Big|_{\xi \rightarrow \infty} &= -\frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{\xi^{3/2}} \frac{d}{d(1/\xi)} \left[\sqrt{\xi} \int_0^\infty \frac{e^{-z}}{\sqrt{z}} dz \right] = \\ &= -\frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{\xi^{3/2}} \frac{d}{d(1/\xi)} \left[2\sqrt{\xi} \int_0^\infty e^{-u^2} du \right] = \frac{1}{2}. \end{aligned} \quad (17)$$

Значение $g_9^\infty(\xi)$ при $\xi = 1$, рассчитанное при помощи двучленной аппроксимации (15), равно 0,497, т. е. отличается от асимптотического значения переходной характеристики при $\xi \rightarrow \infty$ менее, чем на 1%.

Поскольку $g_9^\infty(\xi)$ монотонно возрастающая функция, полученный выше результат означает, что переходная характеристика при заземленном эмиторе может быть записана в виде

$$g_9(\xi) = \begin{cases} \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{e^{-\lambda^2\xi}}{\xi^{3/2}} [e^{-1/\xi} + 4e^{-4/\xi}] & \text{при } \xi < 1, \\ \frac{1}{2} e^{-\lambda^2\xi} & \text{при } 1 < \xi < \infty. \end{cases} \quad (18)$$

Графики $g_9(\xi)$ при различных значениях τ изображены на рис. 1. Кривая I соответствует $\tau = \infty$, т. е. изображает $g_9^\infty(\xi)$; кривая II соответствует $\tau = 100 \theta$, кривая III — $\tau = 20 \theta$.

В вычислении $g_K(\xi)$ нет необходимости, так как (см. (3))

$$g_K(t) = \delta(t) + g_9(t). \quad (19)$$

* При двойном предельном переходе от ряда к интегралу ($1/\xi \rightarrow 0$, $N \rightarrow \infty$, где N — число членов ряда) доказывается, что при любом малом, но фиксированном значении $1/\xi$ всегда может быть найдено такое значение N_1 , что при всех $N > N_1$ остаточный член меньше любого наперед заданного числа ε .

4. Полученные результаты показывают, что переходная характеристика транзистора при заземленном эмиторе (или коллекторе) существенно отличается от переходной характеристики при заземленной базе (см. рис. 1 в (2)). В предельном случае $\tau \rightarrow \infty$ входной δ -импульс тока на базе вызывает незатухающий ответ на коллекторе (или эмиторе). В общем случае время затухания выходного сигнала $i_k(t)$ при заземленном эмиторе (или соответственно $i_s(t)$, если заземлен коллектор) равно τ и не зависит от остальных параметров базы (W, D), тогда как при заземленной базе время затухания порядка нескольких θ (см. рис. 1 в (2)). В этом причина того, что в транзисторах с большим временем жизни неравновесных носителей в базе ($\tau \gg \theta$) частотная граница усиления при заземленном эмиторе и при заземленном коллекторе хуже, чем при заземленной базе (6).

Физический смысл этого явления состоит в следующем: δ -импульс тока в цепи эмитор — база приводит к инъекции в базу дырок через эмиторный переход* и к вбрасыванию такого же количества электронов через базовый электрод. Рассмотрим случай заземленной базы и $\tau = \infty$. Диффундируя через базовый слой, инжектированные дырки выходят на коллектор. Выполнение условия электрической нейтральности в базе обеспечивается при этом одновременным уходом электронов на базу через базовый электрод. Поэтому затухание переходного процесса определяется в этом случае величиной $\theta = W^2/4D$ — характеристическим временем диффузионного прохождения дырок через базовый слой полупроводника. При $\tau \neq \infty$ затухание ускоряется вследствие рекомбинации (2)

$$\frac{1}{t_{\text{затух}}} = \frac{2,6 D}{W^2} + \frac{1}{\tau} \sim \frac{1}{\theta} + \frac{1}{\tau}. \quad (2)$$

Рассмотрим теперь случай $\tau = \infty$ при заземленном эмиторе. Электроны, введенные в базу, не могут уйти из нее, ибо после окончания δ -импульса $i_b = 0$, а уходу их на коллектор и эмитор мешают барьеры в $p-n$ -переходах. По мере диффузии дырок в коллектор некомпенсированный электронный заряд снижает эмиторный барьер и вызывает продолжение инъекции дырок в базу ($i_s \neq 0$). Когда скорость вытекания дырок через коллекторный переход и скорость втекания дырок через эмиторный переход уравниваются, токовый режим становится стационарным, т. е. сохраняется незатухающее изменение эмиторного и коллекторного токов, вызванное базовым δ -сигналом. В общем случае ($\tau \neq \infty$) скорость затухания определяется только процессом рекомбинации в базовом слое, и поэтому время затухания равно τ и не зависит от θ .

Полученные результаты раскрывают физический смысл того, что частотная граница усиления транзистора при заземленном эмиторе определяется в основном величиной τ , а при заземленной базе — значением ω (7).

Выше, как и в наших прежних работах (1,2), предполагается, что эффективность эмитора (6,8) γ равна единице.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило
16 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Э. И. Адирович, В. Г. Колотилова, ЖЭТФ, 29, 3 (12) (1955). ² Э. Адирович, В. Г. Колотилова, ДАН, 105, № 4 (1955). ³ М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат, Методы теории функций комплексного переменного, 1951. ⁴ И. Рыжик, И. С. Градштейн, Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений, 1951. ⁵ В. А. Диткин, П. И. Кузнецов, Справочник по операционному исчислению, 1951. ⁶ R. L. Pritchard, Proc. IRE, 40, No. 11, 1476 (1952). ⁷ E. L. Steele, Proc. IRE, 40, No. 11, 1424 (1952). ⁸ W. Shockley, M. Sparks, G. Teal, Phys. Rev., 83, No. 1, 151 (1951).

* Для определенности рассматриваем транзистор типа $p-n-p$.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. В. КАНДЫБА и В. А. КОВАЛЕВСКИЙ

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СПЕКТРОПИРОМЕТР ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ

(Представлено академиком Г. С. Ландсбергом 19 XII 1955)

Для измерения высоких температур в промышленности, а также в метрологии — при эталонных работах — применяются визуальные оптические пирометры с исчезающей нитью. Точность измерений, производимых оптическими пирометрами, ограничена контрастной чувствительностью глаза: средняя квадратичная погрешность единичного измерения яркости оптическим пирометром составляет около 0,5% (1). Соответственно лучшие современные оптические пирометры (например, типа ЭОП-51 ХГИМИП) обладают погрешностью измерения температуры в области «точки золота» (1063°), равной 0,5°. При экстраполяции международной шкалы температур лимитирующим оказывается также и другое свойство оптических пирометров — недостаточная точность определения эффективной длины волны, что также в значительной мере связано со свойствами человеческого глаза. Замена пирометра со светофильтром спектропирометром, хотя и обеспечивает необходимую точность определения эффективной длины волны, но в связи с большей потерей света неизбежно приводит к увеличению погрешности фотометрирования. Таким образом, точность эталонных работ по воспроизведению международной шкалы температур выше «точки золота» на протяжении последних десятилетий остается на некотором предельном уровне, связанном со свойствами глаза.

Возникшие с развитием новой техники требования повышения точности измерения высоких температур неизбежно приводят к необходимости повышения точности первичных измерений температуры. Очевидно, что решение задачи лежит в области объективных методов пирометрии с заменой глаза фотоэлементом.

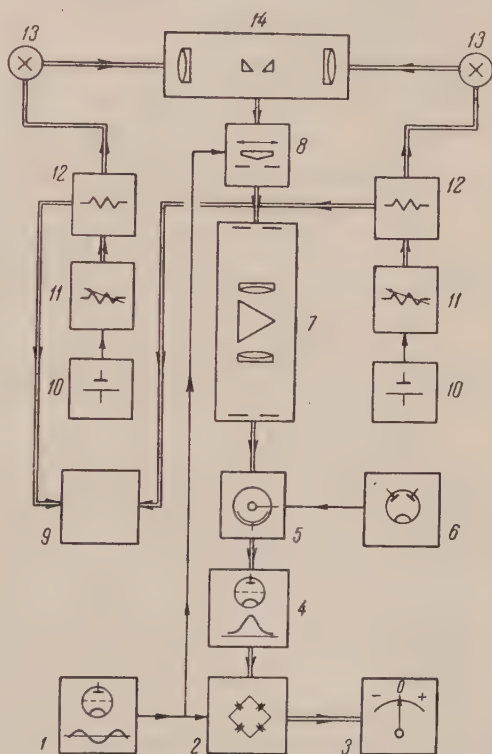


Рис. 1. Блок-схема спектропирометрической установки СПК-1. 1 — генератор модулятора; 2 — синхронный детектор; 3 — указатель равенства яркостей; 4 — узкополосный усилитель; 5 — фотоумножитель; 6 — источник питания; 7 — монохроматор; 8 — модулятор; 9 — потенциометр; 10 — батарея; 11 — реостат; 12 — обратные катушки сопротивления; 13 — температурная лампа; 14 — система внешней оптики

Созданная в связи с этим в Харьковском государственном институте мер и измерительных приборов объективная спектропирометрическая установка СПК-1 предназначена для метрологических работ по градуировке эталонных и образцовых мер яркостной и цветовой температуры (температурных ламп). Сличение ламп осуществляется в лучах различной длины волны в спектральном интервале от 0,45 до 0,85 μ с точностью, значительно превышающей точность визуальных оптических пирометров; установка обеспечивает фиксирование эффективной длины волны с точностью, присущей спектропирометрам.

В основу действия установки положен нулевой модуляционный метод сличения яркостей, принцип работы которого можно найти в (2,3). В установке СПК-1 нулевой модуляционный метод впервые применен для точного сличения монохроматических яркостей температурных ламп.

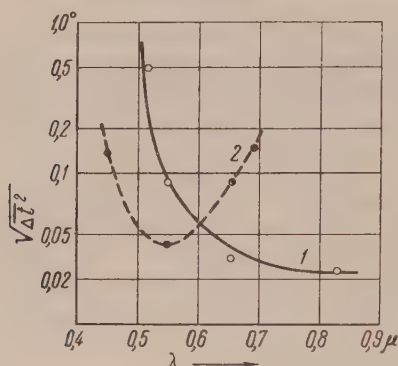


Рис. 2

Рис. 2. Средняя квадратичная погрешность сличения яркостных температур в зависимости от длины волны. 1 — ФЭУ-14, 2 — ФЭУ-15. $t = 1063^\circ$

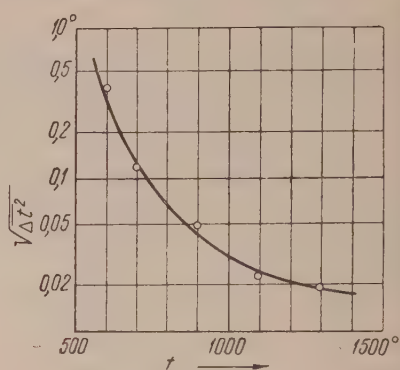


Рис. 3

Рис. 3. Средняя квадратичная погрешность сличения яркостных температур в зависимости от температуры. ФЭУ-14. $\lambda = 0,83 \mu$

Объективная спектропирометрическая установка СПК-1 объединяет в себе все необходимые приборы для сравнения температурных ламп. Взаимодействие основных узлов установки показано на блок-схеме (см. рис. 1). Внешняя оптическая система направляет свет обеих ламп на щель модулятора, являющуюся одновременно входной щелью монохроматора. В установке применен модулятор оригинальной конструкции, отвечающий требованиям точных измерений нулевым методом. Модулятор представляет собой небольшую стеклянную призму, укрепленную на колеблющейся струне перед щелью. Струна колеблется с амплитудой 0,3 мм и с частотой 860 гц. При покоящейся струне ребро призмы делит щель на две равные части, и половина каждого из двух попадающих на щель пучков направляется призмой в коллиматорный объектив. При движении призмы один из пучков, попадающих в объектив, уменьшается, а другой увеличивается. При равных яркостях источников сумма обоих потоков остается постоянной.

Струна пересекает поле постоянного магнита и приводится в движение благодаря прохождению через нее переменного тока; она включена в цепь обратной связи двухлампового усилителя и образует вместе с ним струнный генератор с самовозбуждением.

Модулированный световой поток проходит через двухпризменный монохроматор с общей базой призм в 200 мм и попадает на катод фотоумножителя типа ФЭУ-14, или ФЭУ-15, или ФЭУ-17, или ФЭУ-22, который вместе с выходной щелью может перемещаться вдоль спектра. Фотоумножитель питается от высоковольтного выпрямителя.

Переменная составляющая тока фотоумножителя усиливается резонансным усилителем с RC-фильтром и подается на синхронный детектор, обранный по кольцевой схеме на вакуумных диодах. После RC-фильтра сигнал детектора попадает на стрелочный гальванометр, являющийся указателем равенства яркостей.

Конструктивно установка оформлена в виде стола-шкафа с тремя наклонными пультами. Все измерения на установке может выполнять один человек, сидящий у центрального пульта.

Исследования установки показали, что она обеспечивает сравнение температурных ламп с точностью, существенно превышающей точность визуальных измерений в широком диапазоне температур и длин волн. На рис. 2 представлена средняя квадратичная погрешность сличения яркостей в зависимости от длины волны, а на рис. 3 — в зависимости от температуры. Сличение яркостей на установке можно производить при значительно более низких температурах, чем при помощи визуального пирометра. Установка обеспечивает также высокую точность определения эффективной длины волны. В области $0,65 \mu$ эффективная длина волны может быть воспроизведена с точностью порядка 2 \AA . Табл. 1 иллюстрирует технические возможности объективного спектропирометра СПК-1 в сравнении с визуальным эталонным оптическим пирометром ОП-51.

Таблица 1

	ЭОП-51	СПК-1
Средн. квадратичн. погрешность сличения при $t = 1063^\circ$ и $\lambda = 0,65 \mu$, в $^\circ\text{C}$	0,5	0,03
Погрешность определения эффективн. длины волны, в \AA	10	2
Нижн. предел измерений со средн. квадратичн. погрешностью $0,5^\circ$, в $^\circ\text{C}$	900	600

Установка позволяет повысить точность таких основных работ по оптической пирометрии, как: 1) передача шкалы яркостных температур; 2) построение шкалы цветовых температур на основании существующей шкалы яркостных температур; 3) исследование температурных ламп.

В настоящее время разрабатывается метод точного измерения отношения монохроматических яркостей при помощи установки СПК-1. Метод позволит осуществить экстраполяцию международной шкалы температур повышенной точностью и, в конечном итоге, построить температурную шкалу оптическим методом не от точки затвердевания золота (1063°), как это делалось до настоящего времени, а от значительно более низких температур. Решение последнего вопроса позволило бы уточнить значения высокотемпературных реперных точек и тем самым приблизить международную шкалу к термодинамической.

Таким образом, с созданием объективной спектропирометрической установки СПК-1 существенно повышается уровень метрологических работ в области высоких температур.

Установка СПК-1 внедрена в практику эталонных работ во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии им. Д. И. Менделеева.

Харьковский государственный институт
мер и измерительных приборов

Поступило
15 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Г. Р и б о, Оптическая пирометрия, 1934. ² Г. Розенберг, Усп. физ. наук, 47, № 4, 631 (1952). ³ I. White, M. Liston, JOSA, 40, No. 1, 29 (1950).

Б. Д. ТАРТАКОВСКИЙ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОЗВУЧАНИЯ ОТКРЫТОГО ПРОСТРАНСТВА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМОЙ ГОВОРИТЕЛЕЙ

(Представлено академиком Н. Н. Андреевым 8 II 1956)

Совокупность многих часто расположенных в зале малых говорящих была впервые предложена Н. Н. Андреевым для создания искусственной реверберации в Большом зале Дворца Советов. Установлено, что такая распределенная система говорящих (р.с.г.) может с успехом применяться в качестве самостоятельной системы звукооповещения и звукоусиления ораторов и сценического действия⁽¹⁾, а также для звукоопровождения кинопоказа с целью создания особых звуковых эффектов⁽²⁻⁴⁾.

1. Вплоть до последнего времени не было опубликовано данных об исследованиях возможности применения р.с.г. для озвучания открытых пространств: улиц, площадей, стадионов, выставок и др. Единственное исследование р.с.г., установленной на открытом пространстве, проведение Л. Д. Розенбергом еще в 1940 г.⁽⁵⁾, имело своей целью выяснение степени когерентности звукового поля р.с.г. при воспроизведении речи и музыки и поэтому проводилось с цепочкой говорящих с шагом в 3 м. Столь частое расположение говорящих не могло быть практически использовано в масштабах звукофикации открытых пространств.

Вместе с тем от применения р.с.г. для этой цели можно ожидать значительных преимуществ: равномерной громкости по поверхности произвольной формы, подавления помех типа эхо, обусловленных наличием зданий вблизи или на озвучиваемой территории, возможности многопрограммного ведения и др. Целью настоящего исследования являлось определение важнейших объективных и субъективных характеристик звукового поля р.с.г., применимых для озвучания открытых пространств.

2. Измерения проводились совместно Акустическим институтом АН СССР и организациями Министерства связи СССР на территории Всесоюзной сельскохозяйственной выставки (ВСХВ).

Применялись говорящие мощностью 20 в с высокочастотными головками, обладающие характеристикой направленности симметричной относительно вертикальной оси.

При измерениях звукового давления для воспроизведения использовались записи на магнитной ленте шума флуктуационного происхождения со сплошным спектром и вырезанного октавным фильтром. Использование шума снизило значимость явления интерференции**.

* Работа⁽²⁾ была выполнена в январе 1941 г., но по обстоятельствам военного времени опубликована в 1943 г.

** В звуковом поле, создаваемом когерентными источниками, вообще говоря, всегда имеет место интерференция, независимо от характера излучаемого процесса. Однако для использованного шума пространственные области интерференции были малы. Кроме того интерференционные изменения интенсивности в описываемых опытах были незначительными в сравнении с регулярными изменениями интенсивности, связанными с изменением расстояний до отдельных излучателей

Измерялись уровни звуковых давлений вдоль цепочек говорителей с шагом 15, 20, 30, 40 м на различных от них расстояниях, а также спад звуковых давлений при уходе вдаль от цепочки говорителей.

Субъективные исследования качественных особенностей р.с.г. проводились на музыкальных и речевых записях, воспроизводимых через обычный тракт звукоусилительной передвижки. Выяснялась зависимость возникновения эффекта «звучащего пространства» от шага цепочки и расстояния от нее до слушателя, перемещавшегося вдоль цепочки. Были организованы тесты для оценки качества звучания р.с.г. с различным шагом путем непосредственного сравнения этих систем между собой и с обычной сосредоточенной системой.

Экспертам давались условные обозначения систем звукоусиления и предлагалось после прослушивания всех систем дать на индивидуальных карточках оценку каждой из систем в баллах. В местах слушателей устанавливались приблизительно одни и те же уровни звуковых давлений и менялся порядок прослушивания отдельных систем, чтобы по возможности исключить фактор запоминания.

Ниже приводятся некоторые результаты исследования.

3. При перемещении микрофона вдоль цепочки говорителей максимумы звукового давления располагались против говорителей, минимумы — приблизительно посередине между говорителями. На рис. 1 приводится типичная кривая распределения звукового давления вдоль мачт с говорителями,

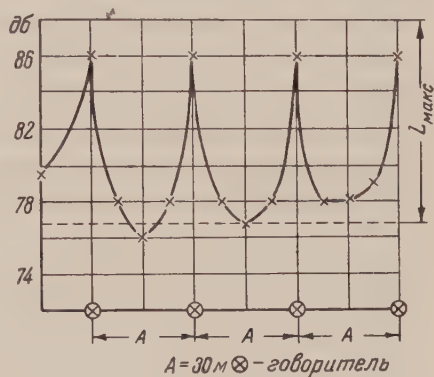


Рис. 1. Уровни звукового давления вдоль говорителей: шаг говорителей $A = 30$ м

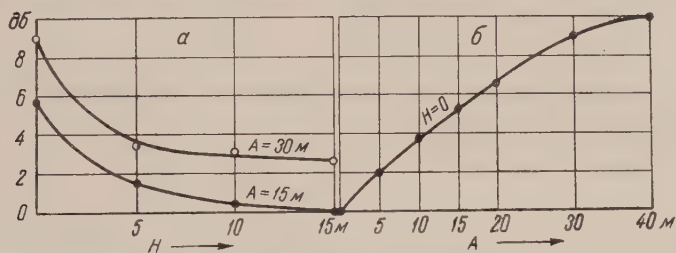


Рис. 2. а — зависимость максимального перепада уровня звукового давления ($L_{\text{макс}}$) от расстояния до цепочки говорителей (H) при различном шаге говорителей (A). б — зависимость максимального перепада уровня звукового давления ($L_{\text{макс}}$) вдоль цепочки говорителей от шага говорителей (A)

расположенными на высоте 5 м с шагом $A = 30$ м при шуме со сплошным спектром. Максимальный перепад звукового давления ($L_{\text{макс}}$) для этого случая в среднем равен 9 дБ. Вообще же величина $L_{\text{макс}}$ зависит для данного типа говорителей от шага цепочки (A) и расстояния от цепочки говорителей до параллельной ей линии (H), вдоль которой производятся измерения. На рис. 2 а показана, например, экспериментальная зависимость $L_{\text{макс}} = L_{\text{макс}}(H)$ для $A = 15$ м и $A = 30$ м; на рис. 2 б — зависимость $L_{\text{макс}} = L_{\text{макс}}(A)$ при $H = 0$.

В результате подобных измерений было установлено, что при $H \geq 0,3A \div 0,5A$, $L_{\text{макс}} \leq 3$ дБ и практически неравномерность громкости не ощущается слушателем. Экспериментально найденные характеристики распределения звукового давления по поверхности, озвученной цепочкой говорителей,

удовлетворительно совпадают с расчетом, в котором допускается квадратичное суммирование звуковых давлений, развиваемых в данной точке поля каждым из говорителей с учетом дискретности расположения говорителей и их характеристик направленности в вертикальной и горизонтальной плоскости. Квадратичное суммирование, как показало дальнейшее детальное исследование, допустимо повсеместно, кроме узких зон посередине между говорителями, где из-за равенства расстояний до ближайших наиболее интенсивных говорителей наблюдаются заметные интерференционные эффекты.

На рис. 3 приведены примерные данные убывания звукового давления в разных октавах по мере ухода от цепочки говорителей (шаг 20 м), против говорителя (рис. 3 а) и между говорителями (рис. 3 б). Благодаря наличию высокочастотных головок высокие и низкие частоты в среднем ослабляются одинаково. На рисунках нанесена зависимость уровня звукового

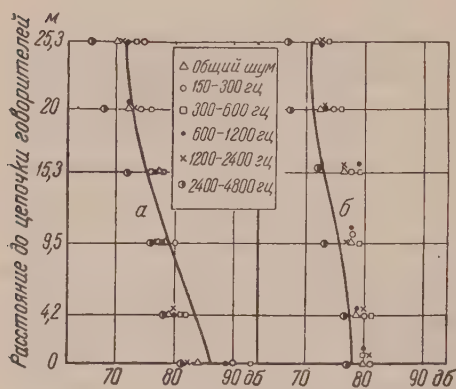


Рис. 3. Убывание уровня звукового давления (L) в разных октавах шума в направлении, перпендикулярном цепочке говорителей: а — от одного из говорителей, б — от середины между двумя говорителями

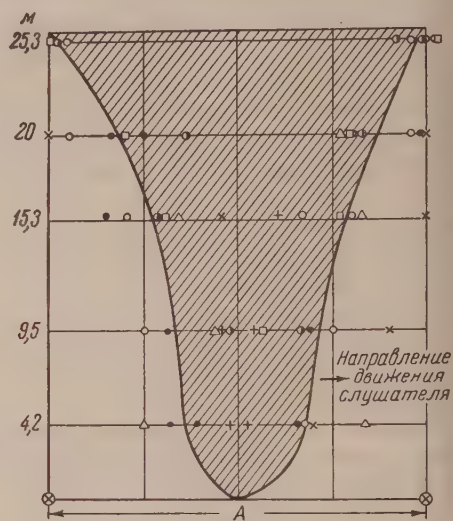


Рис. 4. Зона наблюдения эффекта «звучащего пространства». Различные точки обозначают границы зоны, наблюдаемые при отдельных опытах ($A = 20$ м)

давления от расстояния, рассчитанная без учета характеристик направленности говорителей. Расхождение между расчетом и экспериментальными данными составляет 4—5 дБ. Последующий учет характеристик направленности говорителей дал совпадение теории с аналогичным экспериментом в пределах ошибки опыта 2 дБ.

4. На рис. 4 показана зона наблюдения эффекта «звучащего пространства» при цепочке с шагом 20 м. Границы зоны, в которой слушатели не наблюдали звучания отдельных говорителей, обозначены точками, соответствующими отдельным опытам. Несмотря на значительный разброс, нетрудно подметить общую закономерность: с увеличением расстояния до цепочки ширина зоны «звучащей линии» возрастает и на расстоянии, превышающем шаг цепочки, эффект наблюдается повсеместно. В проведенных нами опытах эффект «звучащей линии», благоприятно оцениваемый почти всеми слушателями, возникал при цепочках говорителей с шагом 15—20 м на расстоянии нескольких метров от цепочки;—с шагом 30 м на расстоянии 30 м; при цепочках с шагом 40 м он не наблюдался вовсе. Никто из экспертов и испытуемых лиц не отметил наряду с этим как помеху для восприятия звучания р.с.г. факт замечаемости отдельных говорителей, если только неравномерность уровня силы звука не превосходила 10 дБ (этому соответствовало положение слушателей на линии цепочки говорителей с шагом 40 м).

5. Результаты опытов по сравнительной оценке качества различных распределенных и централизованной систем характеризуются вкратце следующей таблицей, в которой указано против названий систем число лиц, признавших данную систему наилучшей.

Таблица 1

	Централизованная система	Распределенная система			Итого
		$A = 10$ м	$A = 20$ м	$A = 40$ м	
Число слушателей . . .	2	9	21	2	34
%	6	26	62	6	100

6. Описанное выше исследование распределенных систем говорителей показало их применимость для озвучания открытых пространств. Они позволяют получить равномерное по интенсивности звуковое поле, обеспечить в заданных местах территории оптимальный уровень громкости и частотную характеристику звучания. Слушатели-эксперты и неспециалисты благоприятно оценивают наличие эффекта звучащего пространства и отмечают явное преимущество р.с.г. перед сосредоточенной системой звукоусиления.

На основе этих опытов автором была предложена и при его участии спроектирована и затем построена на территории ВСХВ р.с.г., состоящая из цепочек говорителей РГД-25 с характеристиками направленности, радиально симметричными относительно вертикальной оси, конструктивно совмещенных со светильниками. Отдельные цепочки имеют шаг от 15 до 35 м. Испытания построенной системы, а также отзывы посетителей показали, что эта система обладает хорошими акустическими качествами, отвечая тем же требованиям, предъявляемым к инженерному оборудованию такого рода. Этим самым подтверждена возможность и целесообразность применения р.с.г. не только для озвучания закрытых помещений, но и для открытых пространств.

Автор считает своим приятным долгом выразить глубокую благодарность академику Н. Н. Андрееву за его постоянный интерес к работе и отметить существенное участие в создании р.с.г. на территории ВСХВ А. И. Грачева и И. А. Шамшина.

Акустический институт
Академии наук СССР

Поступило
8 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. Д. Розенберг, Б. Д. Тартаковский, ДАН, 31, 883 (1941).
² Л. Д. Розенберг, Б. Д. Тартаковский, ДАН, 41, 218 (1943). ³ H. Reiss and, J. Soc. Motion Picture Eng., 37, 154 (1941). ⁴ E. Plumb, J. Soc. Motion Picture Eng., 39, 16 (1942). ⁵ Л. Д. Розенберг, ЖТФ, 12, 211 (1943).

Член-корреспондент АН СССР И. А. КАЗАРНОВСКИЙ, С. И. РАЙХШТЕЙН
и Л. Н. БЫКОВА

КИНЕТИКА САМОПРОИЗВОЛЬНОГО РАСПАДА ОЗОНИДА КАЛИЯ

В 1949—1951 гг. в нашей лаборатории был открыт новый класс окислов — озониды щелочных металлов, которые представляют собой красные кристаллические вещества, имеющие структуру $M^+O_3^-$ с неизвестным ранее молекулярным ионом озона O_3^- (1,2). Как показали магнитные измерения, этот ион обладает характером свободного радикала с одной ненасыщенной валентностью (1)*.

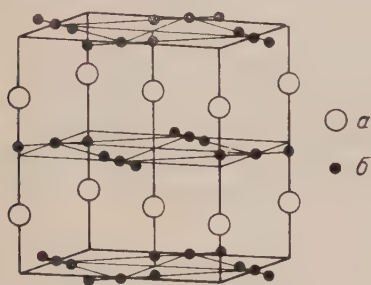


Рис. 1. Кристаллическая решетка озонида калия. a — ионы калия, b — ионы O_3

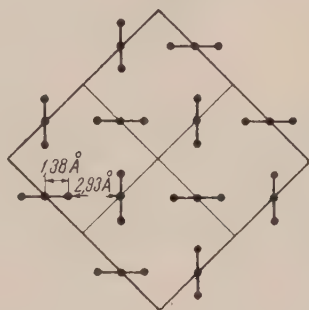


Рис. 2. Плоская сетка [ионов O_3^- в решетке озонида калия]

Рентгеновское исследование озонида калия (3) обнаружило тетрагональную решетку типа бифторида калия, подобную решетке азидка калия (4) и с такими же параметрами элементарной ячейки ** (см. рис. 1).

Аналогия этих двух структур указывает на то, что ион O_3^- , так же как и ион N_3^- , обладает линейной формой (1). Электронное строение иона O_3^- может быть изображено приближенно формулой $\bar{O}-\overset{+}{O}-\bar{O}$. Расстояние между двумя соседними атомами кислорода в ионе O_3^- составляет около 1,38 Å (1). В решетке озонида калия ионы O_3^- образуют бесконечные плоские сетки, в которых расстояние между ближайшими атомами двух соседних ионов O_3^- равно 2,93 Å (см. рис. 2).

Особенностью озонидов щелочных металлов является их неустойчивость при комнатной температуре и медленный распад на супероксиды и кислород, например, по уравнению



* В 1951 г. Уоли и Клейнберг повторили наши исследования озонида калия и подтвердили полученные нами результаты (5).

** В пределах 0,01 Å.

Основные термодинамические величины этой реакции составляют $\Delta H_{298}^\circ = -11,6$ ккал; $\Delta S_{298}^\circ = 33$ кал/град; $\Delta F_{298}^\circ = -21,6$ ккал⁽⁶⁾. Отсюда упругость диссоциации озонида калия при 298°K $p_{O_3} = 10^{16}$ атм. Диссоциация озонида калия на супероксид калия и кислород является, следовательно, реакцией необратимой.

Настоящая работа содержит исследование кинетики самопроизвольного распада озонида калия. Изучаемая реакция представляет интерес и в том отношении, что протекает, хотя и медленно, но вполне измеримой скоростью как при комнатной температуре, так и при температурах ниже нуля.

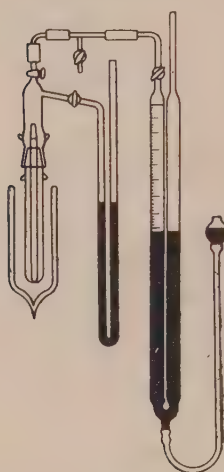


Рис. 3. Аппарат для измерения скорости распада озонида калия

Нами проведены измерения скорости распада озонида калия при +50; +20; 0; -9 и -18°. Исходные препараты озонида калия в виде красно-коричневого кристаллического порошка содержали 92,9% KO₃, 5,2% KOH·H₂O и 0,19% KOH. Порошок озонида калия был спрессован в таблетки на гидравлической прессе, помещенном в сухую камеру*. Диаметр таблетки 8 мм, толщина 3,0 мм, вес около 0,4 г. Для каждого опыта брались 2 таблетки.

О степени распада озонида калия судили по количеству выделившегося кислорода. Применявшийся аппарат изображен на рис. 3. В конце опытов производились анализы продуктов реакции и составлялись материальные балансы.

Для поддержания температуры 0° использовалась смесь измельченный лед + вода + NaCl (1%), а для температур -9° и -18° — криогидратные смеси KCl + лед и NaCl + лед. Охлаждающие смеси в сосудах Дьюара менялись 2 раза в сутки. При этом постоянство температуры поддерживалось в пределах $\pm 1^\circ$.

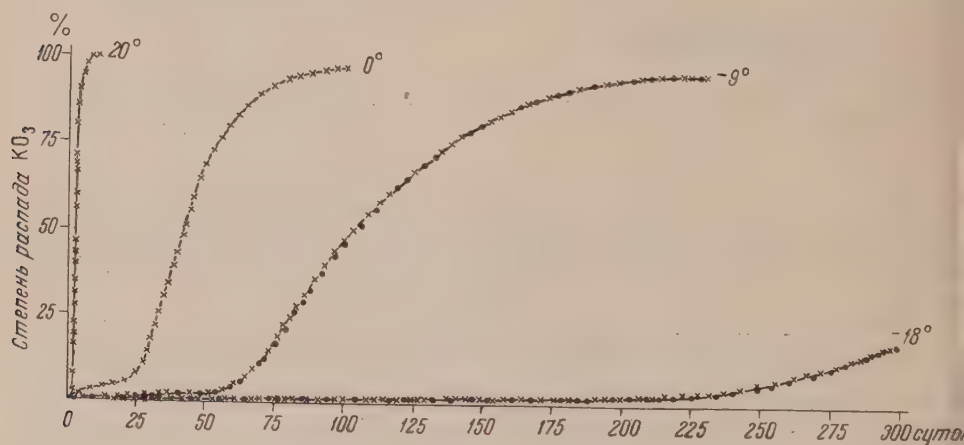


Рис. 4. Кинетика распада озонида калия

Результаты измерений показаны на рис. 4. Как видно из рисунка реакция распада KO₃ имеет автокаталитический характер с индукционным периодом, длительность которого при температурах +20; 0; -9 и -18° составляет, соответственно, 1,67; 20; 54 и 205 суток. В последующий активный период скорость распада озонида калия резко возрастает

* Ввиду чрезвычайной чувствительности озонида калия к влаге все операции с этим препаратом проводились в «сухой» камере.

Так, при $+20^\circ$ средняя скорость распада за индукционный период составляет 0,23% в час, в активном же периоде скорость достигала 2,3% KO_3 в час, т. е. увеличилась в 10 раз; при -9° скорость составляла 0,03 и 1,5% в сутки, т. е. увеличилась в 50 раз.

Период полураспада для 50° равен 2 час., для $+20^\circ$ —3,5 суткам, для 0° —41 суткам и для -9° —103 суткам. Практически полный распад достигается при 50° за 4 часа, при $+20^\circ$ за 10 суток, при 0° за 101 сутки и при -9° за 230 суток. При -18° за индукционный период, который длился 205 суток, разложилось менее 1% KO_3 , что соответствует потере активного кислорода около 0,2%. За 8 мес. потеря кислорода составляла около 1% при содержании в исходном препарате 12,6% активного кислорода.

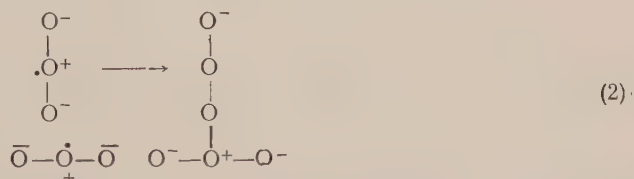
Интересно отметить хорошую воспроизводимость кинетических измерений, несмотря на чрезвычайную медленность протекающей реакции. В качестве примера приводим некоторые результаты при -9° и -18° (см. табл. 1).

Расчет энергии активации E при помощи интегрирования уравнения Аррениуса дал для участков активного периода с постоянной скоростью следующие значения:

$t, ^\circ\text{C}$	50—20	20—0	0—(—18)
$E, \text{ ккал}$	23,4	22,9	21,6

В вопросе о природе индукционного периода и активного состояния при реакциях термического распада твердых веществ, как известно, до сих пор нет ясности. Чтобы подойти к механизму изучаемой реакции, можно предложить гипотезу, опирающуюся на теорию дефектных кристаллических структур (?). Мы предполагаем, что за время индукционного периода происходит постепенное накопление дефектов в кристаллической решетке распадающегося озонида калия, и активное состояние характеризуется достижением некоторого критического предела, при котором начинается распад на фазу, насыщенную дефектами, и новую фазу KO_2 . С этого момента реакция идет на границе фаз и ее скорость сначала растет, а затем падает в соответствии с изменением величины границы.

Исходя из кристаллической структуры озонида калия, можно предположить, что при достаточной амплитуде тепловых колебаний соседние ионы O_3^- образуют промежуточные комплексы с частичным или полным насыщением свободных валентностей, например, по схеме:



Эти комплексы, накапливающиеся во время индукционного периода, распадаются далее на ионы O_2^- и молекулу кислорода согласно:



Вследствие насыщения свободных валентностей ионов O_3^- при предполагаемом образовании промежуточных комплексов последние должны быть диамагнитными, в то время как KO_3 и KO_2 парамагнитны. Возможно, что магнитные измерения смогут пролить свет на механизм изучаемой реакции.

Нами начаты измерения магнитной восприимчивости продуктов распада озонида калия в различных стадиях этого процесса.

Научно-исследовательский
физико-химический институт
им. Л. Я. Карпова

Поступило
10 I 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. А. Казарновский, Г. П. Никольский, Т. А. Аблецов, ДАН, 64, 69 (1949). ² Г. П. Никольский, З. А. Багдасарьян, И. А. Казарновский, ДАН, 74, 69 (1951). ³ Г. С. Жданов, З. В. Звонков, ЖФХ, 25, 100 (1951). ⁴ S. Hendricks, L. Pauling, J. Am. Chem. Soc., 47, 2908 (1925). ⁵ Th. P. Whaley, J. Kleinberg, J. Am. Chem. Soc., 73, 79 (1951). ⁶ Г. П. Никольский, Л. И. Казарновская, З. А. Багдасарьян, И. А. Казарновский, ДАН, 72, 713 (1950). ⁷ J. S. Anderson, Ann. Reports Progress Chem., 43, 104 (1947); A. L. Rees, Chemistry of the Defect Solid State, London, 1954.

В. Е. ПЛЮЩЕВ, И. Б. МАРКИНА и Л. П. ШКЛОВЕР

О ПОЛИМОРФИЗМЕ НИТРАТОВ РУБИДИЯ И ЦЕЗИЯ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С НИТРАТОМ БАРИЯ

(Представлено академиком Г. Г. Уразовым 24 XII 1955)

Полиморфным превращениям нитратов рубидия и цезия уделялось внимание рядом исследователей как специально, так и в связи с изучением некоторых систем, образованных при участии этих соединений.

В области температур от комнатной до температуры плавления у нитрата рубидия установлены четыре различные модификации. Одной из переходных точек соответствует, по Бриджмэну ⁽¹⁾, температура 164,4°, по А. П. Ростковскому ⁽²⁾ 164° (охлаждение) и 166° (нагревание), по Н. Пушину и М. Радойчичу ⁽³⁾ 160,5° (охлаждение). Вторая переходная точка найдена Н. Пушиным и М. Радойчичем ⁽³⁾ при 216° (охлаждение) и А. П. Ростковским при 222° (охлаждение) и 229° (нагревание). Высокотемпературная модификация нитрата рубидия, существующая выше 290—292°, впервые установлена А. П. Ростковским ⁽²⁾. Нитрат цезия имеет две модификации с точкой перехода: по Госснеру ⁽⁴⁾ при 156° (охлаждение) и 161° (нагревание), по Бриджмэну ⁽¹⁾ при 153,7°, по Н. Пушину и М. Радойчичу ⁽³⁾ при 151,5°.

Большинство исследователей не сообщает каких-либо данных анализов, которые бы характеризовали чистоту имевшихся в их распоряжении соединений. Бриджмэн ⁽¹⁾, работавший с препаратами, предназначенными для определения атомных весов элементов, отмечает, что загрязнения понижают температуры переходов из одной модификации в другую.

Достаточно колеблющиеся данные имеются и в значениях температуры плавления нитратов рубидия и цезия. Например, температура плавления для нитрата рубидия указывается 306° ⁽⁵⁾, 313° ⁽⁶⁾, 312° ^(3,7), 316° ⁽²⁾, а для нитрата цезия — 414° ⁽⁸⁾, 408° ⁽⁵⁾ и 417,5° ⁽³⁾.

В настоящей работе было предпринято исследование методом термического анализа (по кривым нагревания с дифференциальной записью на пирометре системы Н. С. Курнакова и с применением платино-платинородиевой термопары, градуированной по общепринятым опорным точкам) полиморфизма нитратов рубидия и цезия и двойных систем, образованных ими с нитратом бария.

Эти две системы до настоящего времени не изучены и лишь предположительно ⁽⁹⁾ относятся к простому эвтектическому типу.

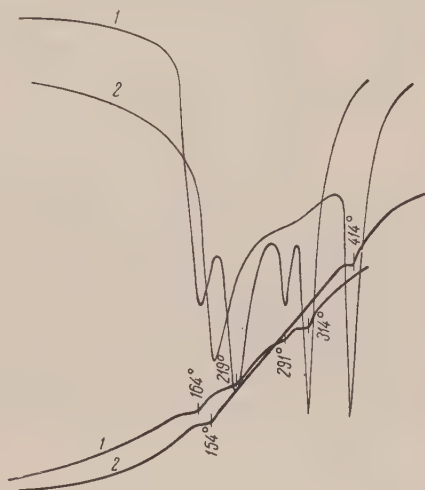


Рис. 1. Кривые нагревания. 1 — RbNO_3 ; 2 — CsNO_3

Исходные нитраты представляли собою вполне чистые соединения. Сдерживание в них примесей других щелочных элементов по данным спектрального анализа может быть представлено следующими цифрами (в вес. %). Найдено в RbNO_3 : $\text{Li} < 0,02$, $\text{Na} < 0,03$, $\text{K} = 0,04$, $\text{Cs} = 0,0035$; найдено в CsNO_3 : $\text{Li} < 0,02$, $\text{Na} < 0,03$, $\text{K} < 0,015$, $\text{Rb} = 0,045$.

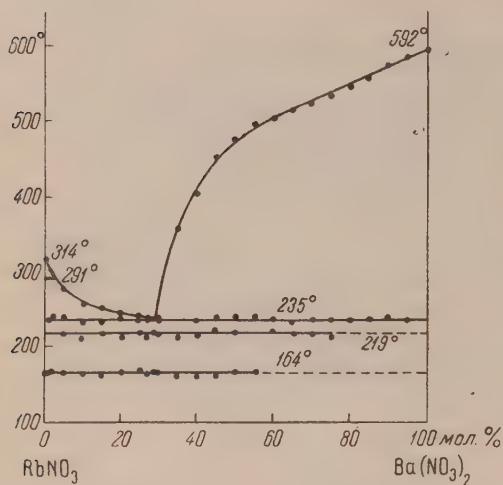


Рис. 2. Диаграмма плавкости системы $\text{RbNO}_3\text{—Ba(NO}_3)_2$

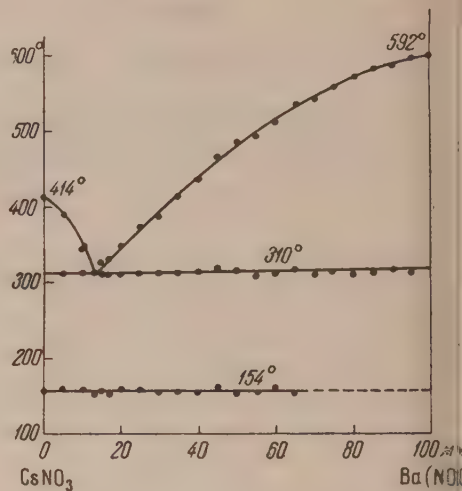


Рис. 3. Диаграмма плавкости системы $\text{CsNO}_3\text{—Ba(NO}_3)_2$

При записи кривых нагревания чистых нитратов рубидия и цезия (н вески по 5—6 г) были испытаны различные скорости нагревания, от 6 до 14 град/мин. На рис. 1 даны кривые нагревания нитратов рубидия и цезия (скорость нагревания 7,6 град/мин), на которых максимальные значения температур отвечают плавлению, а остальные — точкам перехода различных модификаций. Эти переходы энантиотропны.

Таким образом, найдены следующие характерные точки для RbNO_3 : 164° ($\delta \rightarrow \gamma$), 219° ($\gamma \rightarrow \beta$), 291° ($\beta \rightarrow \alpha$) и 314° ($T_{\text{пл}}$); для CsNO_3 : 154° ($\beta \rightarrow \alpha$) и 414° ($T_{\text{пл}}$).

Таблица 1

Система $\text{RbNO}_3\text{—Ba(NO}_3)_2$

RbNO ₃ , мол. %	Полиморфное превращение RbNO ₃		Эвтектика	Полиморфное превращение β-RbNO ₃ в α-RbNO ₃	Плавление	RbNO ₃ , мол. %	Полиморфное превращение RbNO ₃		Эвтектика	Полиморфное превращение β-RbNO ₃ в α-RbNO ₃	Плавление
	δ → γ	γ → β					δ → γ	γ → β			
температура в °C						температура в °C					
100	164	219	—	291	314	55	166	222	239	—	452
99	162	217	235	291	299	50	164	220	240	—	472
98	167	217	240	290	295	45	167	221	234	—	492
95	162	219	240	—	275	40	—	222	235	—	502
90	162	212	230	—	253	35	—	217	230	—	512
85	160	217	231	—	250	30	—	218	237	—	522
80	164	214	237	—	244	25	—	214	234	—	532
75	170	221	234	—	240	20	—	—	233	—	542
73	163	214	235	—	238	15	—	—	232	—	552
71	164	219	235	—	235	10	—	—	237	—	572
70	164	216	235	—	240	5	—	—	234	—	582
65	158	213	239	—	355	0	—	—	—	—	592
60	159	219	235	—	402						

При изучении системы $\text{RbNO}_3\text{—Ba(NO}_3)_2$ и $\text{CsNO}_3\text{—Ba(NO}_3)_2$ применялись навески сплавов по 6—7 г, причем сплавы изготовлялись с изменением состава компонентов через 5%; эвтектические точки найдены графически и подтверждены экспериментально. Полиморфное превращение нитрата бария, в соответствии со всеми предшествующими исследованиями, нами также не установлено.

Результаты представлены в табл. 1 и 2 и на рис. 2 и 3.

Таблица 2

Система $\text{CsNO}_3\text{—Ba(NO}_3)_2$

CsNO ₃ , мол. %	Полиморфное превращение	Эвтектика	Плавление	CsNO ₃ , мол. %	Полиморфное превращение	Эвтектика	Плавление
температура в °C				температура в °C			
100	154	—	414	50	150	312	480
95	158	310	388	45	151	305	488
90	154	311	345	40	157	307	507
87	150	310	310	35	149	313	530
85	154	310	326	30	—	305	535
83	155	310	331	25	—	308	550
80	157	310	348	20	—	305	563
75	157	311	370	15	—	306	575
70	154	310	385	10	—	310	580
65	152	310	412	5	—	305	587
60	152	312	435	0	—	—	592
55	160	317	463				

Характер кристаллизации расплавов и наличие эвтектических остановок на кривых нагревания сплавов, отвечающих высоким концентрациям исходных компонентов изученных систем, не дают основания для заключения о том, что в системах образуются твердые растворы. Можно считать установленным, что система $\text{RbNO}_3\text{—Ba(NO}_3)_2$ относится к эвтектическому типу с полиморфными превращениями одного из компонентов выше и ниже эвтектической температуры; система $\text{CsNO}_3\text{—Ba(NO}_3)_2$ также является эвтектической с полиморфным превращением одного из компонентов ниже эвтектической температуры. Эвтектическая точка первой системы отвечает 71 мол. % RbNO_3 и 235° , второй системы—87 мол. % CsNO_3 и 310° .

Московский институт
тонкой химической технологии
им. М. В. Ломоносова

Поступило
23 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ P. W. Bridgman, Proc. Am. Acad., **51**, 590 (1915—1916). ² А. П. Ростковский, ЖРФХО, **62**, 2067 (1930). ³ Н. Пушкин, М. Радойчиц, Z. anorg. allg. Chem., **233**, 41 (1937). ⁴ B. Gossner, Z. Kryst., **38**, 142 (1904). ⁵ F. M. Jaeger, Z. anorg. allg. Chem., **101**, 193 (1917). ⁶ F. L. Haigh, J. Am. Soc., **34**, 144 (1912). ⁷ O. H. Wagner, Z. phys. Chem., **131**, 409 (1928). ⁸ T. W. Richards, E. H. Archibald, Z. anorg. Chem., **34**, 353 (1903). ⁹ С. Д. Громаков, Л. М. Громакова, ЖФХ, **27**, 1545 (1953).

Ф. Г. ПОНОМАРЕВ

О РЕАКЦИИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ α -ОКИСЕЙ С АЦЕТОНОМ В ПРИСУТСТВИИ ФТОРИСТОГО БОРА

(Представлено академиком И. Н. Назаровым 22 XII 1955)

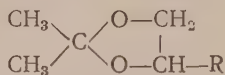
Конденсация α -окисей типа $\text{CH}_2\text{—CH—R}$ с ацетоном в присутствии ката-



лизатора фтористого бора почти не изучена. В литературе известна только реакция с эпихлоргидрином, метиловым эфиром глицида ⁽¹⁾ и окисью пропилена ⁽²⁾.

Представляло интерес, в развитие предыдущих наших исследований ⁽³⁾ получить ряд не описанных в литературе циклических кеталей и проследить влияние заместителей на окисный цикл в реакции α -окисей с ацетоном под влиянием катализатора фтористого бора.

Мы исследовали конденсацию ацетона с глицидом, его эфирами (этиловым, изопропиловым, *n*-бутиловым, изоамиловым, бензиловым), окисями стирола и дивинила. Поставленные опыты показали, что указанные α -окиси взаимодействуют с ацетоном с образованием соответствующих циклических кеталей:



Оказалось, что заместители в молекуле α -окиси сильно повышают ее реакционную способность. Так например, если с ацетоном изученные нами замещенные окиси олефинов образуют кетали с выходом 30—63%, то окисью этилена в тождественных условиях выход кеталя составляет всего 12% ⁽¹⁾. Окись бутадиена дает кеталь (VIII) с выходом 26%.

Окись стирола образует кеталь (VII) с выходом 47%. Глицид, подобный метиловому эфиру глицида ⁽¹⁾, в тождественных условиях дает выход кеталя (VI) 30%.

Сравнение реакционной способности эфиров глицида по отношению к ацетону показывает, что она возрастает с увеличением их молекулярного веса, и в случае этилового эфира глицида выход кеталя (I) составляет 44%, изопропилового (II) 47%, изобутилового ⁽³⁾ 47,5%, *n*-бутилового (III) 49%, изоамилового (IV) 63,3%.

Возможно, что влияние на выход кеталей в гомологическом ряду эфиров глицида связано с уменьшением склонности их к полимеризации. В пользу этого говорит тот факт, что образование кеталя (IV) обычно протекает без теплового эффекта, а образование кеталей (I) и (II) сопровождается сильным разогреванием.

Применявшиеся α -окиси получались из хлоргидринов глицерина ⁽⁴⁾ дивинила ⁽⁵⁾ и стирола. Последний был получен при помощи монохлор мочевины.

Конденсация α -оксисей с ацетоном. Опыты проводились по следующей методике. В колбу к 5-кратному количеству ацетона вносился катализатор $\text{BF}_3 \cdot \text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ в количестве 0,5% от суммы реагентов и затем небольшими порциями окись. Если наступало разогревание, смесь охлаждалась так, чтобы температура реакционной смеси не превышала 30° . После стояния в течение суток смесь промывалась концентрированным раствором поташа, сушилась поташом, ацетон отгонялся, а продукт конденсации перегонялся в вакууме или при атмосферном давлении.

Таблица 1

Вещество	Т. кип. при 10 мм	d_4^{20}	n_D^{20}	MR_D		Мол. вес криоскопич.	
				найд.	выч.	найд.	выч.
I $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{C} \\ \diagup \\ \text{CH}_3 \end{array} \begin{array}{l} \text{O}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O}-\text{CH}-\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_5 \end{array}$	49—50	0,9606	1,4164	41,10	40,88	159,2	160,2
II $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{C} \\ \diagup \\ \text{CH}_3 \end{array} \begin{array}{l} \text{O}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O}-\text{CH}-\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4\text{-изо} \end{array}$	56—57	0,9441	1,4168	46,39	46,47	177,6	174,3
III $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{C} \\ \diagup \\ \text{CH}_3 \end{array} \begin{array}{l} \text{O}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O}-\text{CH}-\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4\text{-н} \end{array}$	72—73	0,9797	1,4380	51,21	51,10	185,7	188,2
IV $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{C} \\ \diagup \\ \text{CH}_3 \end{array} \begin{array}{l} \text{O}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O}-\text{CH}-\text{CH}_2\text{OC}_8\text{H}_{11}\text{-изо} \end{array}$	81—82	0,9305	1,4260	55,69	55,73	201,8	202,3
V $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{C} \\ \diagup \\ \text{CH}_3 \end{array} \begin{array}{l} \text{O}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O}-\text{CH}-\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	59—60	1,1270	1,5340	60,85	61,24	219,8	222,3
VI $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{C} \\ \diagup \\ \text{CH}_3 \end{array} \begin{array}{l} \text{O}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O}-\text{CH}-\text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	70—71	1,0755	1,4338	32,00	32,51	134,6	132,2
VII $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{C} \\ \diagup \\ \text{CH}_3 \end{array} \begin{array}{l} \text{O}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O}-\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	95—96	1,1101	1,5273	50,98	50,42	178,8	178,3
VIII $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{C} \\ \diagup \\ \text{CH}_3 \end{array} \begin{array}{l} \text{O}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O}-\text{CH}-\text{NO}=\text{CH}_2 \end{array}$	121—123 (760 мм)	0,9200	1,4189	35,17	35,14	123,4	128,2

С глицидом, окисями стирола и бутадиена опыты проводились таким образом. К охлажденной до -5° смеси ацетона с $\text{BF}_3 \cdot \text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ прибавлялась окись, также охлажденная до -5° , и смесь оставлялась в ледяной воде на 2 часа, затем на сутки при комнатной температуре. Далее продукты реакции выделялись и обрабатывались, как уже описано.

Отдельные опыты показали, что окись стирола при конденсации с ацетоном без охлаждения сильно полимеризовалась и диоксолан (VII) выделить практически не удалось. Отмечено также, что выход кеталей (VI) в опытах при комнатной температуре снижался с 30 до 19%. Применение бензола в качестве растворителя при конденсации α -оксисей с ацетоном, как установлено на примере глицида и его изопропилового эфира, не устраняет одновременно идущей полимеризации окисей и поэтому не приводит к увеличению выходов кеталей. Формулы и основные физико-химические константы для всех полученных циклических кеталей даны в табл. 1. При определении числа гидроксильных групп в веществе (VI) найдено %: OH 12,60; для $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_3$ вычислено %: OH 12,78.

Циклические кетали представляют собой бесцветные подвижные жидкости с приятным запахом. Хорошо растворяются в спирте, эфире, трудно в воде. Устойчивы по отношению к щелочам и не устойчивы по отношению к кислотам.

Строение всех кеталей (I—VIII) было доказано гидролизом их при помощи разбавленной (5%) серной кислоты, при взбалтывании с которой они

омылялись до исходного ацетона и соответствующих продуктов гидролиза. Так например, из 2,2-диметил-3-фенилдиоксолана (VII) был получен ацетон (т. кип. 56—57°, ацетоноксим, т. пл. 60°) и ожидаемый фенилгликоль. Белоснежные листочки с т. пл. 65—67°. В литературе для этого фенилгликоля приводится т. пл. 67—68⁽⁶⁾.

Воронежский государственный
университет

Поступило
8 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

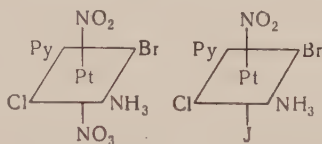
- ¹ А. А. Петров, ЖОХ, 10, 981 (1940). ² А. А. Петров, ЖОХ, 16, 61 (1946).
³ Ф. Г. Пономарев, Л. Н. Черкасова, Р. М. Чернышева, ЖОХ, 25, 1753 (1955). ⁴ Ф. Г. Пономарев, Тр. Воронежск. гос. унив., 17, 113 (1950); ЖОХ, 20, 2064 (1950); ЖОХ, 22, 929 (1952); Тр. Воронежск. гос. унив., 32, 3 (1953).
⁵ А. А. Петров, ЖОХ, 8, 131 (1938); Тр. Воронежск. гос. унив., 10, 101 (1938). ⁶ Beilstein, 5, 6, 907.

Л. Н. ЭССЕН и А. Д. ГЕЛЬМАН

О ПОЛУЧЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ЧЕТЫРЕХВАЛЕНТНОЙ ПЛАТИНЫ С ПЯТЬЮ И ШЕСТЬЮ
РАЗЛИЧНЫМИ ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ ВО ВНУТРЕННЕЙ СФЕРЕ
ТРАНС- И ЦИС-КОНФИГУРАЦИИ

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 12 XII 1955)

Ранее нами сообщалось ⁽¹⁾ о получении комплексных соединений четырехвалентной платины с шестью различными заместителями во внутренней сфере такого состава и строения:

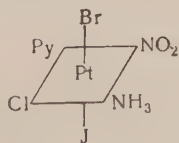


При синтезе этих соединений мы основывались на закономерности И. И. Черняева ⁽²⁾ и, в частности, на представлении о повышенном транс-влиянии нитрогруппы в соединениях четырехвалентной платины. Однако в дальнейшем, исходя из тех же принципов, мы в течение ряда лет не могли добиться успеха в осуществлении синтеза других изомеров того же состава.

Отсутствие реакции замещения аддендов, находящихся в транс-положении к нитрогруппе в соединениях Pt (IV), наблюдалось рядом исследователей и объяснялось чрезвычайно высоким транс-влиянием нитрогруппы ⁽³⁻⁵⁾.

Наши неудачи с синтезом изомеров, а также детальный разбор более ранних работ других авторов заставили нас предположить, что нитрогруппа, обладающая значительным транс-влиянием в соединениях двухвалентной платины, не проявляет такового в соединениях Pt (IV). Аналогичное предположение было высказано Г. Б. Бокием и С. С. Бацановым ⁽⁶⁾ на основании измерения величин координатных рефракций.

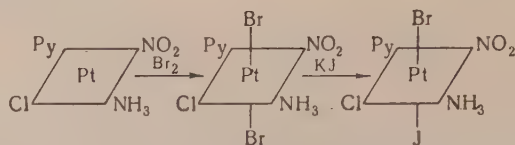
Отказ от общепринятого представления о повышенном транс-влиянии нитрогруппы в соединениях четырехвалентной платины открывал новые пути для синтеза изомерных разноразмещенных соединений четырехвалентной платины. Так, для изомера



мыслился следующий путь синтеза.

Исходным веществом должно было служить комплексное соединение двухвалентной платины [PyNH₃ClNO₂Pt]. В результате окисления этого соединения бромом следовало ожидать образования дибромиды четырехвалент-

ной платины $[\text{PyNH}_3\text{ClNO}_2\text{Br}_2\text{Pt}]$, в котором, согласно нашему предположению, наиболее реакционноспособной является координата Br—Pt—Br , а не координата $\text{NO}_2\text{—Pt—Cl}$, как это принято считать. Поэтому при действии на дибромид четырехвалентной платины КJ в количестве, необходимом для замещения одного атома брома иодом, должен получиться искомым изомер транс-конфигурации:



Исходный нитрохлорид $[\text{PyNH}_3\text{ClNO}_2\text{Pt}]$ мы получали, действуя расчетным количеством нитрита натрия на $[\text{PyNH}_3\text{Cl}_2\text{Pt}]$, в отличие от прежнего способа — совместной кристаллизации $[\text{PyNH}_3\text{Cl}_2\text{Pt}]$ $[\text{PyNH}_3(\text{NO}_2)_2\text{Pt}]$ (2). Окисление бромом проводили при комнатной температуре.

К взвеси $[\text{PyNH}_3\text{ClNO}_2\text{Pt}]$ в воде по каплям прибавляли бром, тщательно перемешивая реагирующие вещества. От прибавления первых капель брома исходное вещество становилось зеленовато-бурым, а затем по мере прибавления брома цвет вещества менялся до яркожелтого. Яркожелтый осадок был отфильтрован, хорошо промыт холодной водой и высушен. В сухом веществе определили содержание платины, галогенов и азота.

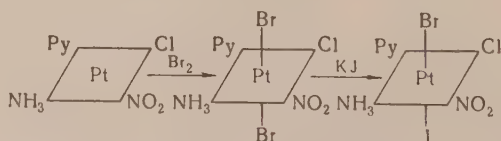
Найдено %: Pt 36,30; 36,99; $\Sigma\text{Cl} + 2\text{Br}$ 36,24; N 7,59; 8,16
 $[\text{PyNH}_3\text{ClNO}_2\text{Br}_2\text{Pt}]$. Вычислено %: Pt 36,66; $\Sigma\text{Cl} + 2\text{Br}$ 36,68; N 7,89; мол. вес 532,4

Ввиду плохой растворимости $[\text{PyNH}_3\text{ClNO}_2\text{Br}_2\text{Pt}]$ в воде последнюю реакцию на пути получения $[\text{PyNH}_3\text{ClNO}_2\text{BrJPt}]$, т. е. замещение одного атома брома иодом, пришлось осуществлять, действуя иодистым калием на взвесь $[\text{PyNH}_3\text{ClNO}_2\text{Br}_2\text{Pt}]$, а не на раствор. Нагревание реагирующих веществ на водяной бане продолжалось 20—25 мин. От прибавления КJ вещество сразу становилось темнобурым. В результате нагревания и тщательного растирания отдельные включения непрореагировавшего яркожелтого исходного вещества исчезли. После охлаждения темнобурый осадок был отфильтрован, промыт водой, а затем перекристаллизован из горячего спирта. Анализ полученного продукта показал следующие результаты:

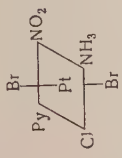
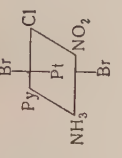
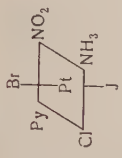
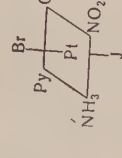
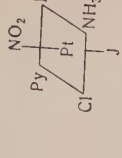
Найдено %: Pt 33,59; 33,33; $\Sigma\text{Cl} + \text{Br} + \text{J}$ 41,85; 41,55; N 6,66; 6,44
 $[\text{PyNH}_3\text{ClNO}_2\text{BrJPt}]$. Вычислено %: Pt 33,68; $\Sigma\text{Cl} + \text{Br} + \text{J}$ 41,81; N 7,24;
 мол. вес 579,4

Конфигурация полученного изомера подтверждается как самим способом получения, так и восстановлением его до соединения двухвалентной платины $[\text{PyNH}_3\text{BrJPt}]$.

Для получения цис-изомера $[\text{PyNO}_2\text{NH}_3\text{ClBrJPt}]$ нам предстояло, взяв в качестве исходного вещества смешанный нитрохлорид цис-конфигурации $[\text{PyNO}_2\text{NH}_3\text{ClPt}]$, повторить уже пройденный при предыдущем синтезе путь, т. е. окислить $[\text{PyNO}_2\text{NH}_3\text{ClPt}]$ бромом, а затем заместить один из бромов иодом:



К водной взвеси $[\text{PyNO}_2\text{NH}_3\text{ClPt}]$ прибавляли по каплям бром, хорошо перемешивая реагенты. При этом бесцветное исходное вещество становилось

Внешний вид						*
Показатели преломл. **	$N_g = 1,868$ $N_p = 1,835$	$N_g = 1,920$ $N_p = 1,780$	$N = 1,910$ кристаллы обладают плеохроизмом	$N_g = 1,920$ $N_p = 1,788$	$N = 1,782$ кристаллы обладают плеохроизмом	Темные блестящие иглолочки
Т. пл., °C	237	Выше 180° вещество темнеет	207	232	223	
Растворим. в воде при 25°, в г/100 г рас- твора	0,02	0,01	0,059	0,079	0,013	
Электропроводн. при 25° ***						
η л/моль ρ ом ⁻¹ ·см ²	10 000 13,9	40 000 17,7	10 000 57,8	10 000 71,4	10 000 128,9	
Отношение к AgNO ₃	Опалесценция при нагревании					Опалесценция при комнатной температуре
Отношение к NH ₄ OH						

* Изомер, полученный нами ранее (1).

** Определены Э. Е. Буровой.

*** Электропроводность определялась через 30 мин. после начала растворения,

лось яркожелтым. Анализ хорошо промытого и высушенного продукта показал:

Найдено %: Pt 36,43; 36,48; $\Sigma\text{Cl} + 2\text{Br}$ 37,25; N 8,03
[$\text{PyNO}_2\text{NH}_3\text{ClBr}_2\text{Pt}$]. Вычислено %: Pt 36,66; $\Sigma\text{Cl} + 2\text{Br}$ 36,68; N 7,89;
мол. вес 532,

Полученное соединение, имея одинаковый состав с описанным выше [$\text{PyNH}_3\text{ClNO}_2\text{Br}_2\text{Pt}$], отличается от него по свойствам (см. табл. 1), т. е. является его изомером.

При наличии в [$\text{PyNO}_2\text{NH}_3\text{ClBr}_2\text{Pt}$] лишь одной активной координаты (Br—Pt—Br) замещение брома иодом проходит гладко.

Водную взвесь [$\text{PyNO}_2\text{NH}_3\text{ClBr}_2\text{Pt}$] нагревали на плитке и действовали на нее иодистым калием, взятым точно по расчету. Цвет вещества постепенно менялся от яркожелтого до светлорозового. Нагревание продолжали около 5 мин., а затем реагирующие вещества медленно охлаждали до комнатной температуры.

Перекристаллизованный из горячего спирта продукт представляет собой мелкокристаллическое светлорозовое вещество. При анализе его найдено (в %):

Pt 33,75; 33,65; $\Sigma\text{Cl} + \text{Br} + \text{I}$ 41,55; 41,20; N 7,09; 7,57,

что хорошо согласуется с теорией.

Цис-конфигурация [$\text{PyNO}_2\text{NH}_3\text{ClBrJPt}$] подтверждается способом получения и восстановлением его до соединения двухвалентной платины [$\text{PyNO}_2\text{NH}_3\text{ClPt}$].

Свойства полученных соединений приведены в табл. 1. Они говорят о том, что три соединения состава [$\text{PyNH}_3\text{ClBrJNO}_2\text{Pt}$], одно из которых получено нами ранее (¹), являются пространственными изомерами. Синтез их подтверждает правильность высказанного нами предположения о незначительном транс-влиянии нитрогруппы в соединениях четырехвалентной платины.

Институт физической химии
Академии наук СССР

Поступило
12 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Д. Гельман, Л. Н. Эссен, ДАН, 75, № 5, 693 (1950). ² И. И. Черняев, Изв. Инст. плат., в. 4, 243 (1926). ³ И. И. Черняев, А. Н. Федорова, Изв. Инст. плат., в. 7, 73 (1929); в. 8, 73 (1931). ⁴ И. И. Черняев, Г. С. Муравейская, Изв. сект. плат., в. 23, 39 (1949); в. 25, 35 (1950). ⁵ Г. С. Муравейская, Кандидатская диссертация, 1954. ⁶ Г. Б. Бокий, С. С. Бацанов, ДАН, 95, № 6, 1205 (1954).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

М. С. АШКИНАЗИ, И. П. ГЕРАСИМОВА* и Б. Я. ДАИН

**ВЛИЯНИЕ ВОДЫ НА СПЕКТР ПОГЛОЩЕНИЯ
И СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ФЕОФОРБИДА ЖЕЛЕЗА**

(Представлено академиком А. Н. Терениным 9 XII 1955)

Известно, что многие естественные пигменты, а также искусственные красители легко образуют с водой молекулярные соединения. В более ранней работе нашей лаборатории (1) было показано, что такие ассоциаты с водой молекул малахитового зеленого и кристаллического фиолетового в значительной мере определяют течение процессов фотоокисления твердых пленок этих красителей. Особенный интерес представляют межмолекулярные соединения с водой хлорофилла и его аналогов. Надо полагать, что их оптические свойства играют существенную роль в явлениях фотосенсибилизации. Это следует, в частности, из того факта, что хорошо высушенный и поэтому не содержащий соответствующих ассоциатов хлорофилл почти теряет способность к флуоресценции (2). Влияние воды на процессы фотохимического окисления хлорофилла отмечалось также в недавней работе В. Б. Евстигнеева и В. А. Гавриловой (3).

Ниже описаны опыты, в которых показано влияние воды на оптические свойства феофорбида железа. Обнаруженные нами эффекты должны быть, по всем данным, также приписаны образованию ассоциатов с водой этого аналога хлорофилла. Спектры поглощения окисленного феофорбида железа в неводных растворах, как показано в работе (4), характеризуются в красной области интенсивными максимумами (620 мμ для спирта и 625 мμ для ацетона). Эти максимумы выступают, однако, отчетливо лишь в том случае, если пигмент и растворитель предварительно подвергались тщательной сушке. При несоблюдении этого условия кривая поглощения приобретает необычный характер, а именно, в длинноволновом участке наблюдается подъем кривой, переходящий иногда в отчетливый максимум у 675—680 мμ.

Подвергавшиеся исследованию свежеперекристаллизованные препараты феофорбида железа а тщательно обезвоживались в глубоком вакууме при 0° (4). Растворители сушились над свежeproкаленным сульфатом кальция, приготовленным из химически чистого хлористого кальция осаждением химически чистой серной кислотой. Дистилляция растворителей с сульфата кальция, удаление из них следов воздуха и растворение в них феофорбида железа осуществлялось в целлюлозном стеклянном реакционном сосуде, связанном с установкой высокого вакуума. К сосуду было припаяно

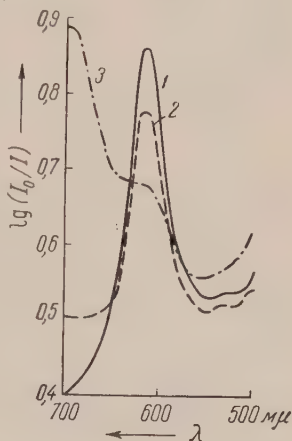


Рис. 1. Кривые поглощения растворов окисленного феофорбида железа в этиловом спирте. 1 — сухого раствора; 2 — содержащего слегка увлажненный пигмент; 3 — с добавкой воды

несколько отростков для реагентов и растворов, а также кюветки для спектрофотометрических измерений. Заполненные в условиях вакуума кюветки отпаивались и после фотометрирования подвергались облучению при температуре 20—22°. Источником света служила 1000-ваттная кинолампа.

На рис. 1 показано, что описанные выше деформации спектра феофорбида железа действительно всегда связаны с наличием влаги. Сухой раствор

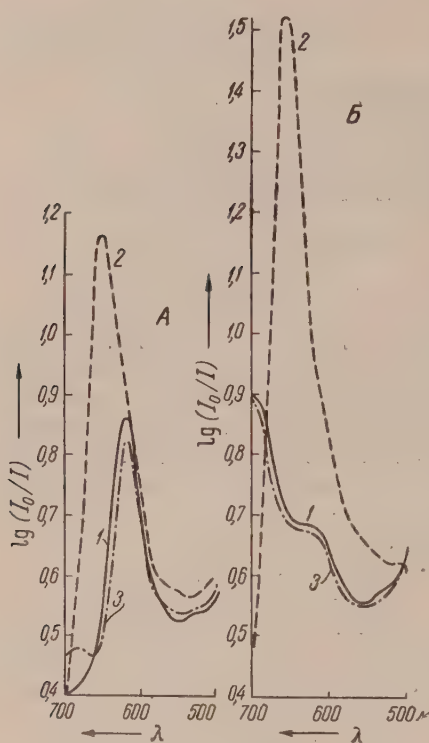


Рис. 2. Действие света на раствор окисленного феофорбида железа в этиловом спирте. А. 1 — кривая поглощения сухого раствора; 2 — то же после 12 час. облучения; 3 — то же после выпуска воздуха. Б. 1 — кривая поглощения раствора с добавкой воды; 2 — то же после 3 час. облучения; 3 — то же после выпуска воздуха

жаться и одновременно повышается поглощение в области 630 мμ.

Особенно трудно обнаруживаются эти изменения в случае хлороформных растворов, в которых вытеснение растворителя водой проходит по видимому, нелегко. Если хлороформенный раствор выпарить досуха, то образующаяся при этом пленка, даже после длительного ее хранения на воздухе, при растворении во влажном спирте не сразу дает спектр, характерный для увлажненного раствора, т. е. с дополнительным длинноволновым поглощением. Между тем, кристаллический феофорбид железа чрезвычайно жадно соединяется с водой. Раствор кристаллического препарата, не хранившегося в вакууме, в хорошо высушенном спирте сразу дает кривую с дополнительным поглощением в области 675—680 мμ. Все эти факты легче всего объяснить, если принять, что молекулы воды связываются с феофорбидом железа, вытесняя молекулы растворителя. Образующиеся при этом ассоциаты и являются носителями поглощения в области 675—680 мμ.

Следует полагать, что молекулы воды занимают какое-то особое положение в образующихся ассоциатах, о чем свидетельствуют резкие изме-

в спирте дает спектр, иллюстрируемый кривой 1. Достаточно весьма кратковременного соприкосновения с влагой воздуха, чтобы в длинноволновой области появилось дополнительное поглощение (рис. 1, 2). Это поглощение значительно усиливается при более длительном стоянии на воздухе. При добавке воды спектр поглощения резко меняется. Красный максимум почти полностью исчезает, и одновременно появляется полоса в области 675—680 мμ (рис. 1, 3).

Аналогичные изменения спектра феофорбида железа при повышенной влажности наблюдаются при применении ряда других растворителей (ацетон, ацетонитрил, толуол). Однако описанный эффект проявляется в различных растворителях не в одинаковой степени. Особенно трудно его реализовать в случае применения растворителей, не смешивающихся с водой. Так, в толуольном растворе заметное снижение максимума у 630 мμ и появление длинноволновой полосы, характерной для увлажненных растворов, наблюдается лишь при значительной добавке воды и длительном встряхивании. Образующиеся в этих условиях системы крайне неустойчивы. При стоянии в течение нескольких часов длинноволновое поглощение начинает постепенно сни-

ения в спектрах, появляющиеся при их образовании и не наблюдающиеся в различных сухих растворителях. Так, максимумы поглощения в содержащих влаги спирте, ацетоне, бензоле, толуоле очень мало отличаются по положению и интенсивности. Между тем, введение воды сразу сказывается как на положении полосы поглощения, так и на ее ширине интенсивности.

Весьма возможно, что описанные глубокие изменения вызываются тем, что в присутствии воды одновременно образуются ассоциаты иного типа в которых связи между молекулами феофорбида железа осуществляются при помощи воды. Предположение об участии воды в процессах агрегации молекул некоторых красителей уже ранее высказывалось Шеппардом²⁾. Аналогичным образом должны быть также, по видимому, истолкованы резкие изменения в спектрах пленок трифенилметановых красителей в присутствии следов влаги, описанные в упоминавшейся выше работе нашей лаборатории⁽¹⁾.

Особенно интересны сопутствующие обнаруженным нами спектральным эффектам отличия в фотохимическом поведении

сухих и влажных растворов феофорбида железа в спирте и ацетоне.

Как было показано ранее⁽⁴⁾, действие видимого света на растворы феофорбида железа в спирте приводит к процессу восстановления, связанному с образованием двухвалентного железа в ядре пигмента. Исследование влияния воды на эти фотопроцессы показало, что наличие ассоциатов облегчает их течение.

Сопоставленные на рис. 2 и 3 спектры сухих и содержащих добавки воды растворов получены для одной и той же концентрации пигмента $1 \cdot 10^{-4}$ мол/л) при одинаковых условиях откачки и облучения. Из рис. 2 А видно, что сухой спиртовый раствор окисленного феофорбида железа (максимум у 620 мμ, рис. 2, 1) превращается в восстановленный продукт (максимум у 650 мμ, рис. 2, 2) лишь после 12 час. облучения. Между тем, в присутствии воды этот процесс проходит значительно легче. Интенсивная полоса фотовосстановленного пигмента (рис. 2 Б, кривая 2) появляется уже после 3 час. облучения. Особенно резко сказывается влияние воды на чувствительность к свету феофорбида железа в ацетоновом растворе. Как показано на рис. 3 А, сухой ацетоновый раствор (максимум у 625 мμ) не удается остановить даже при весьма длительном облучении (6 час.). В случае же применения увлажненного раствора результаты восстановления спектрофотометрически отмечаются уже после 30 мин. облучения. Через 3 часа появляется отчетливый, интенсивный максимум фотовосстановленного феофорбида железа (рис. 3 Б, кривая 2).

В пользу того, что во всех этих случаях появление интенсивной полосы максимумом у 650 мμ связано с процессом восстановления, говорит, в частности, тот факт, что после выпуска воздуха всегда появляется спектр, характерный для окисленного продукта (кривые 3 на рис. 2 и 3).

Наблюдавшееся нами повышение светочувствительности феофорбида

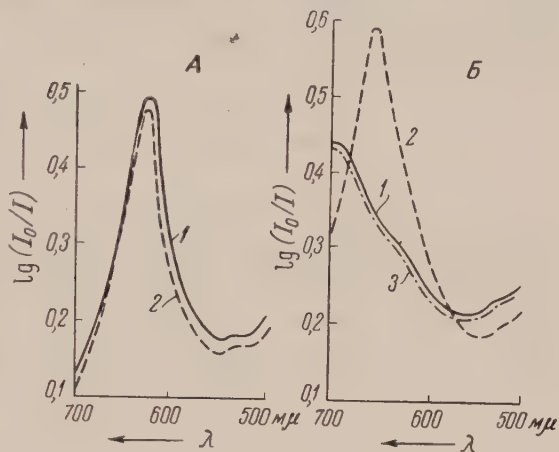


Рис. 3. Действие света на раствор окисленного феофорбида железа в ацетоне. А. 1 — кривая поглощения сухого раствора; 2 — то же после 6 час. облучения. Б. 1 — кривая поглощения раствора с добавкой воды; 2 — то же после 3 час. облучения; 3 — то же после выпуска воздуха

железа в присутствии воды является результатом вызываемых ею в этом случае ассоциативных явлений. Можно было бы полагать, что образование ассоциатов описанного выше типа должно способствовать течению реакций диспропорционирования и что в этом и заключается сущность действия воды. Однако значительный эффект регенерации исходных продуктов при впуске воздуха является, повидимому, некоторым возражением против такого толкования эффекта. С другой стороны, столь же трудно допустить фотоокисление ацетона пигментом. Изложенные данные свидетельствуют о специфических влияниях воды не только на спектры, но и на фотохимическое поведение феофорбида железа. Их дальнейшее детальное изучение представляется актуальным.

Институт физической химии им. Л. В. Писаржевского
Академии наук УССР

Поступило
20 XI 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. И. Дилунг, Б. Я. Даин, ДАН, **95**, 1001 (1954). ² В. Б. Евстигнеев, В. А. Гаврилова, А. А. Красновский, ДАН, **66**, 1133 (1949); **70**, 268 (1950); R. Livingston, W. F. Watson, J. McArdle, J. Am. Chem. Soc., **71**, 1542 (1949). ³ В. Б. Евстигнеев, В. А. Гаврилова, ДАН, **89**, 523 (1953). ⁴ М. С. Ашкинази, И. П. Герасимова, Б. Я. Даин, ДАН, **102**, 767 (1955). ⁵ S. E. Sheppard, Rev. Mod. Phys., **14**, 303 (1942).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

И. В. ВЕЙЦ и Л. В. ГУРВИЧ

ЭНЕРГИЯ ДИССОЦИАЦИИ AlO

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 27 XII 1955)

До настоящего времени вопрос о величине энергии диссоциации молекул AlO не может считаться решенным однозначно. Разными авторами в результате спектроскопических и термохимических исследований предложен ряд резко отличающихся друг от друга значений этой величины.

Линейная экстраполяция для $X^2\Sigma$ состояния молекулы AlO приводит к значению $D_0(\text{AlO}) = 4,16$ эв, которое может рассматриваться только как нижняя граница искомой величины, так как ионные силы связи должны, повидимому, играть значительную роль в молекуле AlO. В то же время изучение преддиссоциации в спектрах AlO приводит к значительно более низким значениям. Так, Герцберг ⁽¹⁾ на основании преддиссоциации в $B^2\Sigma$ состоянии AlO считает, что $D_0(\text{AlO}) < 3,75$ эв, а Розен ⁽²⁾ из преддиссоциации в $X_2\Sigma$ состоянии нашел $D_0(\text{AlO}) < 0,93$ эв.

Последнее значение может быть безусловно отвергнуто, так как исследование спектров атмосферы звезд показало, что, наряду с такими устойчивыми молекулами как TiO, ZrO, VO и др., в ней присутствует AlO. Это позволяет утверждать, что энергия диссоциации AlO должна по величине быть близкой к энергиям диссоциации этих молекул, т. е. иметь значение порядка 5—7 эв.

Действительно, Бревер и Сирси ⁽³⁾, исследуя эффузионным методом равновесие $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{тв.}) \rightleftharpoons 2\text{AlO}(\text{газ.}) + \text{O}(\text{газ.})$, получили для рассматриваемой величины значение $6,0 \pm 0,4$ эв.

Это значение принимает Гейдон в новом издании своей монографии ⁽⁴⁾. Однако в опытах Бревера и Сирси ⁽³⁾ состав паров над твердой окисью алюминия оставался неизвестным и, в частности, не было экспериментально установлено отсутствие в них газообразной окиси алюминия, Al_2O_3 . Поэтому найденная этими авторами величина энергии диссоциации AlO может содержать значительную ошибку, и новое исследование энергии диссоциации AlO по независимому методу представляло несомненный интерес.

Энергия диссоциации AlO находилась при помощи определения константы равновесия реакции диссоциации AlO:

$$K_p(T) = \frac{P_{\text{Al}} P_{\text{O}}}{P_{\text{AlO}}}$$

в ацетилено-кислородном пламени по методу, описанному нами ранее ⁽⁵⁾.

Парциальное давление атомарного алюминия находилось на основании измерения интенсивностей линии $\text{Al } \lambda = 3961,5 \text{ \AA}$ в спектре пламени и эталонного источника излучения (лампы накаливания) при длине волны линии по соотношению (см. ⁽⁵⁾)

$$P_{\text{Al}} = \frac{4\pi k \frac{d\lambda}{dx} S G c_1 \lambda^{-4}}{A_{mn} g_m h c I_{\text{эф}}} B_{\varepsilon_c}(T) Q(T) e^{\frac{c_2}{\lambda} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_c} \right]}$$

где k — постоянная Больцмана; $d\lambda/dx$ — дисперсия прибора; S — ширина щели спектрографа; G — увеличение спектрального прибора; c_1 и c_2 — постоянные закона Планка; h — постоянная Планка; A_{mn} — вероятность перехода; g_m — статистический вес верхнего состояния; B — отношение орбитальных интенсивностей линии и лампы; $Q(T)$ — сумма по состояниям; $\epsilon_c(T)$ — цветовая испускательная способность вольфрама; T_c — цветовая температура лампы; $l_{\text{эф}}$ — эффективная толщина пламени.

Алюминий вводился в пламя в виде растворов хлористого алюминия или алюмо-калиевых квасцов. Измерения проводились на спектрографе ИСП-51 с камерой $f = 270$ мм. Источником сравнения служила температурная лампа ЛТ-2. Марки почернения снимались при помощи 9-ступенчатого платинового ослабителя. Спектрограммы были получены на пластинках «блау-рапид» фирмы Агфа.

При вычислении P_{Al} для абсолютной вероятности перехода, соответствующего линии $\lambda = 3961,5 \text{ \AA}$, было принято, на основании данных Бирмана Любека ⁽⁶⁾ и Е. А. Никоновой ⁽⁷⁾ значение $A = 5,5 \cdot 10^7 \text{ сек}^{-1}$.

Найденные таким образом величины парциального давления атомарного алюминия в ацетилено-кислородных пламенах трех различных температур приведены в табл. 1. Температура соответствующих пламен и парциальное давление атомарного кислорода, приведенные в той же таблице, вычислялись теоретически.

Таблица 1

Пламя	$T, ^\circ\text{K}$	Конц. р-ра в М	$P_{\text{Al}} \cdot 10^7$	$\Sigma P_{\text{Al}} \cdot 10^8$	$P_{\text{AlO}} \cdot 10^8$	$P_{\text{O}} \cdot 10$	$K_p(T) \cdot 10^8$	$\Delta\Phi^*$	D_0 в $\frac{\text{ккал}}{\text{моль}}$
АК-II	3150	0,0636	1,51	2,300	2,29	1,078	0,712	27,69	132,6
АК-III	3210	0,0636	2,00	2,115	2,14	1,158	1,085	27,71	132,5
АК-IV	3250	0,0636	2,38	2,029	2,01	1,162	1,379	27,73	132,8
АК-II	3150	0,1182	1,85	4,273	4,26	1,078	0,169	27,69	135,3

Поскольку в принятой нами методике парциальное давление паров AlO вычисляется как разность между ΣP_{Al} — суммарным давлением всех соединений алюминия в пламени и P_{Al} — парциальным давлением атомарного алюминия, необходимо определить порядок парциальных давлений других соединений алюминия, образование которых возможно в пламени.

Наиболее вероятно образование в пламени, наряду с AlO , молекул Al_2O , Al_2O_3 и AlH .

Парциальные давления этих соединений были вычислены нами из следующих соотношений:

$$P_{\text{Al}_2\text{O}} = \frac{P_{\text{Al}}^2 P_{\text{O}}}{K_p(\text{Al}_2\text{O})}; \quad P_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{P_{\text{Al}}^2 P_{\text{O}}^3}{K_p(\text{Al}_2\text{O}_3)}; \quad P_{\text{AlH}} = \frac{P_{\text{Al}} P_{\text{H}}}{K_p(\text{AlH})}.$$

Для соответствующих расчетов были использованы значения $K_p(\text{Al}_2\text{O}_3)$ по данным ⁽⁸⁾, значения $K_p(\text{AlH})$, вычисленные нами по данным, приведенным в монографии ⁽¹⁾, и значения $K_p(\text{Al}_2\text{O})$, полученные нами при помощи приближенной оценки по данным ^(3,9). Парциальные давления атомарных алюминия и кислорода приведены в табл. 1, парциальное давление водорода в соответствующих пламенах было вычислено нами раньше ⁽⁵⁾. Результаты проведенных расчетов показали, что в условиях наших опытов можно пренебречь образованием всех перечисленных соединений, так как их парциальные давления на несколько порядков меньше ΣP_{Al} , и, следовательно, парциальное давление P_{AlO} может вычисляться по соотношению $P_{\text{AlO}} = \Sigma P_{\text{Al}} - P_{\text{Al}}$. Найденные таким образом величины, а также

соответствующие им значения $K_p(\text{AlO})$ при трех температурах приведены в табл. 1. В той же таблице приведены значения энергии диссоциации AlO , вычисленные по известному соотношению

$$D_0 = T(\Delta\Phi - R \ln K_p),$$

где K_p — константа диссоциации AlO при температуре $T^\circ \text{K}$. $\Delta\Phi = \Phi_{\text{Al}}^* + \Phi_{\text{O}}^* - \Phi_{\text{AlO}}^*$ — изменение приведенного термодинамического потенциала Планка $\Phi^* = -\frac{Z^0 - H_0^0}{T}$ при температуре $T^\circ \text{K}$.

Необходимые для соответствующего расчета значения Φ^* потенциалов были вычислены обычными методами статистической механики ⁽¹⁰⁾, по состоянным, рекомендуемым Мур ⁽¹¹⁾ (Al и O) и Герцбергом ⁽¹⁾ (AlO). На основании данных, приведенных в табл. 1, для энергии диссоциации AlO получаем значение $133,5 \pm 3$ ккал/моль (5,8 эв), которое удовлетворительно согласуется с найденным Бревером и Сирси.

Бревер и Сирси ⁽³⁾ предполагают, что расхождение между двумя значениями энергии диссоциации AlO — вычисленным при помощи линейной экстраполяции и найденным ими экспериментально — объясняется тем, что нижнее известное $^2\Sigma$ состояние AlO не является основным состоянием этой молекулы. По нашему мнению, это предположение ошибочно, и соответствующее расхождение обусловлено, так же как в случае AlF и некоторых других молекул, ионным характером химической связи.

Институт горючих ископаемых
Академии наук СССР

Поступило
15 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ G. Herzberg, *Molecular Spectra and Molecular Structure, I, Spectra of Diatomic Molecules*, 2 Ed., Toronto — N. Y., London, 1950. ² B. Rosen, *Phys. Rev.*, **68**, 24 (1945). ³ L. Brewer, A. W. Searcy, *J. Am. Chem. Soc.*, **73**, 5308 (1951). ⁴ A. Gaydon, *Dissociation Energy and Spectra of Diatomic Molecules*, 2 ed., London, 1953. ⁵ И. В. Вейц, Л. В. Гурвич, *Журн. Оптика и спектроскопия*, **1**, в. 1, 26 (1956). ⁶ L. Bierman, K. Lübeck, *Zs. Astrophys.*, **25**, 325 (1948). ⁷ Е. А. Никонова, Автореферат диссертации, ГОИ, Л., 1955. ⁸ V. N. Huff, S. Gordon, F. E. Morrell, *General Method and Thermodynamic Tables for Computation of Equilibrium Composition and Temperature of Chemical Reactions*, 1950. ⁹ R. F. Porter, P. Schissel, M. G. Inghram, *J. Chem. Phys.*, **23**, 339 (1955). ¹⁰ В. М. Грязнов, А. Ф. Фрост, *Статистические методы расчета термодинамических величин*, М., 1950. ¹¹ Ch. Moore, *Atomic Energy Levels*, **1**, NBS, Circ. 467, Washington, 1949

Академик В. А. КАРГИН и Т. И. СОГОЛОВА

ТЕЧЕНИЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА ПОД ДЕЙСТВИЕМ БОЛЬШИХ СИЛ

Поливинилхлорид при высоких температурах химически изменяется⁽¹⁻³⁾ и образует структурные сетки. Можно было ожидать, что поливинилхлорид вообще будет чрезвычайно быстро утрачивать текучесть, так как процессы течения, возникающие лишь при нагреве, будут всегда осложнены процессами структурообразования. Сначала мы пытались определить текучесть поливинилхлорида при температурах, соответствующих его переходу в текучее состояние, известных из термомеханических исследований^(4,5). Поэтому были измерены деформации одноосного сжатия, развивавшиеся за 10 сек.*, под действием постоянного напряжения (от 0,9 до 3,0 кГ/см²) в интервале от 20 до 200°.

В качестве объектов исследования были взяты четыре разные партии нестабилизированного поливинилхлорида (I, II, III и IV) и одна партия стабилизированного поливинилхлорида (V). Значения приведенных вязкостей растворов поливинилхлорида в циклогексаноне при 25 (0,25 г в 100 мл раствора) были, соответственно, равны 1,47; 1,25; 0,90; 1,00 и 0,94.

Выяснилось, что большинство исследованных образцов различных партий поливинилхлорида в указанных условиях не давало истинной остаточной деформации. В тех случаях, когда возникала остаточная деформация (выше 160° и при более длительном воздействии сил), всегда отмечалась частичная или даже полная потеря растворимости образцов**. Как известно, ухудшение растворимости поливинилхлорида связано с его пространственным структурированием при нагревании. Поэтому обнаруженная необратимая деформация не может быть вызвана обычной текучестью, отсутствующей в сетчатых полимерах, и является не чем иным как высокоэластической деформацией, обратимость которой утратилась вследствие непрерывно протекавших во время деформации процессов структурирования.

Исследование текучести поливинилхлорида было также проведено при растяжении тонких пленок (толщиной 0,2—0,3 мм) при высоких температурах. Несмотря на развитие больших деформаций (сотни процентов), истинной текучести также не было обнаружено.

В связи с полученными результатами стало очевидным, что свойства поливинилхлорида в процессе измерения значительно изменяются, поэтому применение общепринятых термомеханических методов изучения текучести не может дать положительных результатов.

Необходимо было поставить опыты в таких условиях, чтобы течение полимера могло быть обнаружено и измерено раньше, чем в образце разовьется заметное структурирование.

С этой целью пленки поливинилхлорида, толщиной в 30—50 м, заправлялись в свинцовые зажимы, погружались в горячую фосфорную кислоту и изотермически растягивались различными силами. В этих условиях за 30—60 сек. при 170° успевали развиваться*** большие деформации образцов

* Длительность опытов во всем интервале температур вследствие необходимости термостатирования продолжалась от 2 до 3 час.

** Следует заметить, что полимеры, потерявшие способность частично или полностью растворяться, во многих случаях могли быть перепрессованы.

*** Следует отметить, что при этом большинство образцов разрушалось раньше, чем успевала развиваться значительная деформация.

стигавшие 500—600%. Кроме того, в тех же условиях изучались деформации изгиба тонких пленок поливинилхлорида. Однако, несмотря на большое число различных опытов в широком интервале температур и сил, истинную текучесть поливинилхлорида обнаружить не удалось. При этом выяснилось, что в поливинилхлоридных пленках уже после 40 сек. прогрева имеются сетчатые образования. Повидимому, при таких условиях структурирования в первую очередь образуются сетки нехимического характера, так как исследованные пленки хорошо растворимы.

Исследование пластифицированных пленок также показало, что при значительном содержании пластификаторов (до 30%) текучесть поливинилхлорида не обнаруживается.

С другой стороны, известно, что при технологической переработке поливинилхлорид может хорошо вальцеваться и формоваться, что, несомненно, связано с проявлением текучести этого полимера. Следует заметить, что ряд изделий из поливинилхлорида получается методом ударного прессования, при котором нагретый до высоких температур полимер хорошо формуются при мгновенном воздействии больших сил (удара). Давление, развивающееся в полимере, при этом равно 800—1000 кГ/см².

Обнаруженное противоречие между полученными в лабораторных условиях данными об отсутствии текучести поливинилхлорида и наличием текучести этого полимера при производственных процессах переработки требует объяснения. В опытах по растяжению пленок действующие силы сравнительно невелики и не могут превышать значений разрывной прочности. В случае же вальцевания или прессования возникают сложные деформации сдвига, растяжения и сжатия, в которых развиваются весьма большие величины напряжений. Очевидно, что поливинилхлорид, не способный к течению при относительно слабых воздействиях, оказывается текучим при действии больших сил и высоких температур. Следовательно, текучесть поливинилхлорида имеет необычный характер.

В связи с этим были проведены опыты, в которых сравнивались свойства вальцованного при 180° поливинилхлорида со свойствами того же полимера, подвергнутого только прогреву при 180° в течение того же времени. Оказалось, что при прогревании образцов различных партий поливинилхлорида уже через час утрачивалась их растворимость (многие образцы теряли растворимость через 40 мин. прогрева). Образцы же, подвергавшиеся даже длительному совместному механическому и тепловому воздействию (вальцеванию), оставались растворимыми. Поскольку при вальцевании, несмотря на структурирующее действие прогрева, пленки поливинилхлорида остаются растворимыми и способными к формованию, то очевидно, что сильное механическое воздействие вызывает в поливинилхлориде деструктивные процессы.

Для оценки этих деструктивных процессов было существенным выяснить, как изменяется молекулярный вес поливинилхлорида во время вальцевания. Учитывая, что до сих пор не найдена пригодная для всех типов поливинилхлорида связь между вязкостями их растворов и молекулярными весами, мы сравнивали приведенные вязкости растворов вальцованных поливинилхлоридов. В качестве растворителя применялся циклогексанон.

Оказалось, что в первые несколько часов вальцевания приведенная вязкость практически не изменяется. Более длительное вальцевание вызывает повышение приведенной вязкости.

Отсюда следует, что в то время как прогревание поливинилхлорида приводит к его структурированию, вальцевание в течение длительного времени не изменяет ни растворимости поливинилхлорида, ни приведенной вязкости его растворов. Следовательно, при вальцевании, являющемся совместным воздействием на полимер тепла и больших механических сил, процесс структурирования компенсируется процессом деструкции.

На основании сопоставления приведенных выше данных можно сделать вывод о том, что течение поливинилхлорида осуществляется не за счет

взаимного перемещения химически неизменных больших молекул (как например, в случае медленного течения полиизобутилена, развивающегося при воздействии малых сил), а за счет вызываемых большими силами разрывов цепных молекул или образованных ими пространственных структур. В результате процесса деструкции возникает возможность обратного перемещения отдельных, ранее взаимно связанных, элементов структуры, т. е. течения полимера. Однако, поскольку, как было показано выше, процесс деструкции компенсируется процессом структурирования, поливинилхлорид способен к течению только в моменты воздействия больших сил.

Таким образом, можно сделать вывод, что течение поливинилхлорида имеет деструктивно-рекомбинационный характер и протекает лишь под действием больших механических сил. Повидимому, подобного рода явления наблюдаются во всех случаях механической переработки структурирующихся полимеров. Возможно, что значительная часть процессов переработки полимеров осуществляется по обнаруженному нами для поливинилхлорида механизму течения, которое мы предлагаем назвать «химическим течением»*.

Из установленных нами фактов вытекают важные следствия. Известно, что структурирование поливинилхлорида тесно связано с его окислением, развивающимся по цепному механизму. Следовательно, процесс деструкции при воздействии больших сил, приводящий к образованию свободных радикалов⁽⁵⁾, должен существенно влиять на протекание окислительных процессов. Таким образом, процесс химического течения есть сопряженный процесс механической деструкции и окисления.

Кроме того, образующиеся при механических воздействиях свободные радикалы могут также реагировать с другими полимерными молекулами, образуя разветвленные структуры. Следствием этого процесса должно быть понижение текучести полимера. Поэтому, при вальцевании полимера должно устанавливаться равновесие между процессами механической деструкции и структурирования, обусловленного взаимодействием образующихся свободных радикалов с цепными молекулами, а также окислительными процессами.

Ясно также, что процесс переработки поливинилхлорида должен быть очень чувствителен к примесям, способным ингибировать или инициировать цепные процессы окисления. Действительно, введение таких добавок будет нарушать равновесие между процессами структурирования и деструкции и, следовательно, влиять на процесс химического течения. Ингибиторы должны смещать равновесие в сторону деструкции, т. е. способствовать развитию химического течения. Введение же веществ, являющихся источником свободных радикалов, инициирует окислительные процессы и, следовательно, снижает химическую текучесть.

В заключение следует отметить, что обнаруженное явление химического течения поливинилхлорида имеет, повидимому, более общий характер и свойственно всем системам, в которых могут развиваться сопряженные процессы деструктивно-рекомбинационного характера.

Поступило
11 I 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Э. И. Барг, Технология синтетических пластических масс, Л., 1954, стр. 2.
² E. I. Arlman, J. Pol. Sci., 12, 543 (1954). ³ E. I. Arlman, J. Pol. Sci., 547 (1954). ⁴ В. А. Каргин, Ю. М. Малинский, ДАН, 72, 725 (1955).
⁵ В. А. Каргин, М. Н. Штединг, Журн. хим. пром., № 3, 137 (1955).

* Такое обозначение отмечает существенную особенность течения, развивающегося вследствие непрерывного разрушения и рекомбинации химических связей в пространственно структурированном полимере, не способном к обычному течению.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Е. РУКЕНШТЕЙН

**ТЕОРИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДЕСТИЛЛЯЦИИ
В СЛУЧАЕ ДОСТАТОЧНО КОРОТКИХ КОЛОНН**

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 23 II 1956)

В работе (1)* мы предполагали, что время необходимое для диффузионного прохождения жидкостной пленки для каждого из компонентов смеси, достаточно мало по сравнению с временем стекания жидкости на теплой поверхности А. Другими словами, мы считали, что глубина диффузионного проникновения больше толщины δ жидкостной пленки для большей части высоты поверхности А.

В этой заметке мы разберем случай, когда это условие не выполняется, а именно случай, когда глубина диффузионного проникновения Δ меньше толщины слоя жидкости, в котором скорость имеет значение, близкое к u_δ (эта толщина равна приблизительно $0,4 \delta$).

Если $\delta_0 - \delta$ достаточно мало по сравнению с Δ , то $D_j \left(\frac{\partial c_j}{\partial y} \right)_\delta$ из сравнения (10) работы (1) можно аппроксимировать выражением**

$$D_j \left(\frac{\partial c_j}{\partial y} \right)_\delta = \left(\frac{3}{2\pi} \frac{D_j u_m}{x} \right)^{1/2} (c_{j,\delta} - c_{j,0}); \quad (1)$$

где $c_{j,0}$ и $c_{j,\delta}$ — значения c_j и c_j при $x = 0$.

* Обозначения и схему прибора см. (1).

** Выражение (1) соответствует диффузионной задаче

$$u_\delta = \frac{\partial c_j}{\partial x} = D_j \frac{\partial^2 c_j}{\partial z^2} \quad \begin{cases} c_j = c_{j,0}, & z > 0, & x = 0; \\ c_j = c_{j,\delta}, & z = 0, & x > 0; \\ c_j = c_{j,0}, & z = \infty, & x > 0, \end{cases}$$

где $c_{j,\delta}$ и u_δ считаются постоянными.

Решением этой задачи является:

$$c_j - c_{j,0} = (c_{j,\delta} - c_{j,0}) \operatorname{erfc} \left(\frac{z}{2 \sqrt{x D_j / u_\delta}} \right), \quad (a)$$

откуда

$$-D_j \left(\frac{\partial c_j}{\partial z} \right)_{z=0} = \left(\frac{3}{2\pi} \frac{D_j u_m}{x} \right)^{1/2} (c_{j,\delta} - c_{j,0}).$$

Определяя глубину диффузионного проникновения как расстояние, на котором выражение (a) приводит к

$$c_j - c_{j,0} = 5 \cdot 10^{-2} (c_{j,\delta} - c_{j,0}),$$

из (a) получим

$$\Delta \approx 2,8 \sqrt{D_j x / u_\delta}.$$

Теперь легко понять, что даже в случае, когда оба условия, отмеченные в введении, выполнены, выражение (1) еще приблизительно справедливо.

Если выражение $D_j \left(\frac{\partial c_j}{\partial y} \right)_\delta$ из (1) подставить в уравнение

$$\frac{dN_j}{dx} = s D_j \left(\frac{\partial c_j}{\partial y} \right)_\delta + s X_{j,\delta} \frac{d}{dx} \int_0^\delta u c dy = -s k_{j,\delta} X_{j,\delta}$$

(уравнение (10) из работы (1)), получим:

$$\frac{dN_j}{dx} = s \left(\frac{3 D_j u_m}{2\pi x} \right)^{1/2} (c_{j,\delta} - c_{j,0}) + s X_{j,\delta} \frac{d}{dx} \int_0^\delta u c dy = -s k_{j,\delta} X_{j,\delta}. \quad (2)$$

Если предположить, что концентрация c изменяется незначительно из (2) получим

$$X_{j,\delta} = \frac{c X_{j,0} \left(\frac{3 D_j u_m}{2\pi x} \right)^{1/2}}{k_{j,\delta} + c \left(\frac{3 D_j u_m}{2\pi x} \right)^{1/2} + \frac{d}{dx} \int_0^\delta u c dy}; \quad (3)$$

$$\frac{dN_j}{dx} = - \frac{s k_{j,\delta} c X_{j,0} \left(\frac{3 D_j u_m}{2\pi x} \right)^{1/2}}{k_{j,\delta} + c \left(\frac{3 D_j u_m}{2\pi x} \right)^{1/2} + \frac{1}{s} \frac{d}{dx} \sum_{i=1}^m N_i}. \quad (4)$$

Средняя скорость u_m пропорциональна δ^2 . Так как в уравнение (4) входит $u_m^{1/2}$ и δ в общем медленно меняется с x , заменим u_m его значением $u_{m,0}$ при $x=0$. Для предварительной оценки мы заменим $\frac{d}{dx} \sum_{i=1}^m N_i$ его значением при $x=0$. Тогда мы легко получим

$$N_{j,0} - N_j = \frac{2 s k_{j,\delta} X_{j,0}}{r_j} \left[x^{1/2} - \frac{1}{r_j} \ln(1 + r_j x^{1/2}) \right], \quad (5)$$

где через r_j обозначено выражение

$$r_j \equiv \frac{k_{j,\delta} - \sum_{i=1}^m k_{i,\delta} X_{i,0}}{c} \left(\frac{2\pi}{3 D_j u_{m,0}} \right)^{1/2}. \quad (6)$$

Можно провести более точный расчет, если определить $d \sum_{i=1}^m N_i / dx$ из уравнения

$$\frac{d \sum_{i=1}^m N_i}{dx} = - \sum_{j=1}^m \frac{s k_{j,\delta} c X_{j,0} \left(\frac{3 D_j u_{m,0}}{2\pi x} \right)^{1/2}}{k_{j,\delta} + c \left(\frac{3 D_j u_{m,0}}{2\pi x} \right)^{1/2} + \frac{1}{s} \frac{d}{dx} \sum_{i=1}^m N_i}, \quad (7)$$

которое получается из (4) суммированием по j .

* Если это условие не выполняется, мы будем заменять c некоторым средним значением.

Если ввести обозначения

$$\varphi' \equiv \frac{d}{dx} \sum_{i=1}^m N_i, \quad a_j \equiv cs^2 k_{j, \delta} X_{j, 0} \left(\frac{3D_{j^u m, 0}}{2\pi x} \right)^{1/2}, \\ b_j \equiv k_{j, \delta} s + cs \left(\frac{3D_{j^u m, 0}}{2\pi x} \right)^{1/2},$$

уравнение (7) запишется в виде

$$\varphi' = - \sum_{j=1}^m \frac{a_j}{b_j + \varphi'}. \quad (7')$$

Выбор корня, подходящего с физической точки зрения, сделаем, имея в виду, что он должен стремиться к $-s \sum_{j=1}^m k_{j, \delta} X_{j, 0}$, когда $x \rightarrow 0$.

Предположим, что $b_1 > b_2 > \dots > b_m$. Корень, удовлетворяющий вышеупомянутому условию, может находиться лишь в промежутке $0, -b_m$ и является меньшим по абсолютной величине из двух корней, которые можно найти в этом промежутке. Обозначим его через $\eta(x)$.

Следовательно,

$$N_{j, 0} - N_j = s k_{j, \delta} X_{j, 0} c \int_0^x \frac{\left(\frac{3D_{j^u m, 0}}{2\pi x} \right)^{1/2} dx}{k_{j, \delta} + c \left(\frac{3D_{j^u m, 0}}{2\pi x} \right)^{1/2} + \frac{1}{s} \eta(x)}. \quad (8)$$

Бухарестский
политехнический институт

Поступило
5 VII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. Рукенштейн, ДАН, 108, № 3 (1956).

Н. Д. ТОМАШОВ и Ю. Н. МИХАЙЛОВСКИЙ

МЕХАНИЗМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 2 I 1956)

Условия возникновения электрохимической гетерогенности на поверхности металла, приводящей к развитию коррозии, были в основном установлены и изучены на примере коррозии металла в жидких электролитах — водных растворах (¹⁻⁵). Известные закономерности возникновения и функционирования коррозионных локальных элементов в принципе остаются действительными и применительно к развитию коррозии во влажной почве, поскольку здесь процессы коррозии имеют также электрохимическую природу. В этом исследовании мы хотели, однако, отметить и некоторые особенности, наблюдаемые при электрохимической коррозии в условиях почвы. В противоположность электролитам, которые обычно можно рассматривать как гомогенные и однородные среды, легко подвергающиеся размешиванию или естественной конвекции, почвы обладают ясно выраженной неоднородностью и в значительной мере должны рассматриваться как «неподвижный электролит». По этой причине скорость коррозии металла в почве будет зависеть не только от возникновения микрокоррозионных пар, связанных со структурной неоднородностью металла, но гораздо в большей степени от образования микропар, связанных со структурной неоднородностью самой почвы, и особенно по причине образования макрокоррозионных пар вследствие различия в кислородной проницаемости отдельных участков почвы. Ниже кратко приведены результаты экспериментального исследования трех характерных типов возникновения макрокоррозионных пар, работа которых, по нашему мнению, часто определяет наиболее сильные коррозионные разрушения реальных подземных конструкций.

1. Создание макропар на подземной металлической конструкции, проходящей через участки почвы с различной кислородной проницаемостью. Макропары данного типа возникают на протяженных металлических конструкциях, проходящих через границу почв с различными физико-химическими свойствами. Резкое изменение кислородной проницаемости вдоль металлической поверхности приводит к образованию разности электродных потенциалов металла и к появлению макрокоррозионного тока. Величина тока и его распределение по поверхности конструкции зависят от электропроводности почвы и ее поляризационных характеристик.

На рис. 1 даны кривые распределения коррозионного тока и потенциала, полученные в опыте на модельном трубопроводе, проходящем через границу песка и глины 10% влажности. Модель собиралась из отдельных секций изолированных друг от друга тонкими эбонитовыми прокладками. Между секциями включались сопротивления r по 3 ома, на которых по величине падения потенциала измерялся ток, проходящий через каждый участок трубы (см. схему на рис. 1). Из кривых видно, что начальные потенциалы железа в глине на 0,15 в отрицательнее, чем в песке. При замыкании секций

трубы максимальный градиент потенциала, максимальные плотности катодного и анодного тока и изменение полярности трубы имеют место точно на границе раздела глина — песок. Измеренные токи указывают на наличие сильной коррозии за счет возникшего тока дифференциальной аэрации. Известно, что скорость коррозии отдельных образцов железа, целиком находящихся в глинистой почве (т. е. когда коррозионный процесс целиком обусловлен деятельностью микропар), очень мала вследствие сильного торможения катодных процессов ввиду малой проницаемости кислорода. На исследуемом модельном трубопроводе, тем не менее, максимальные коррозионные поражения наблюдаются именно на участке трубы, проходящей через

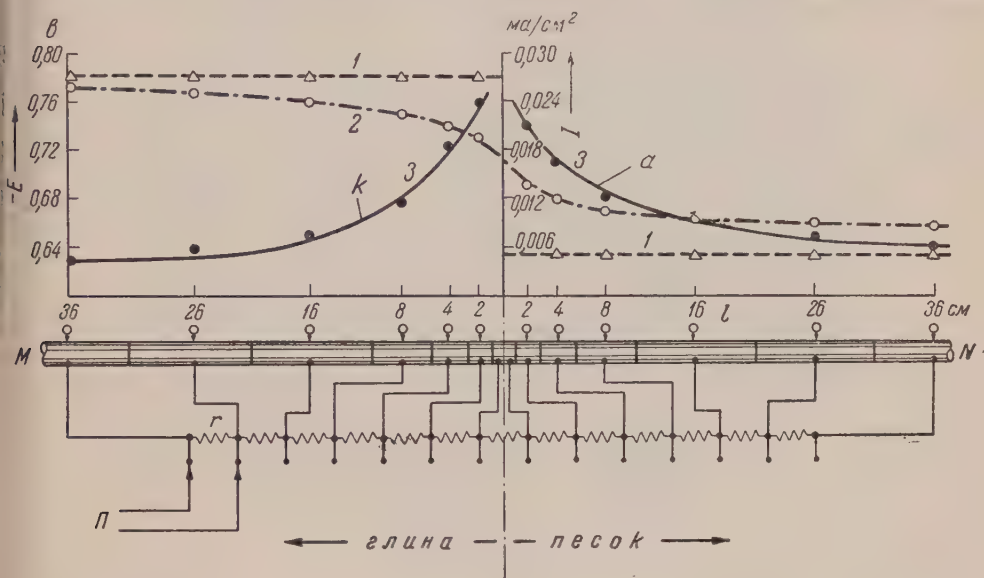


Рис. 1. Распределение плотности тока и потенциала на модельном трубопроводе (MN). 1 — потенциал трубы в разомкнутом состоянии; 2 — распределение потенциала при работе макропары; 3 — распределение плотности тока по трубе в катодной (k) и анодной (a) зонах; стрелки — точки замера потенциала; r — сопротивления; П — переключатель к потенциометру

глину. Увеличение скорости коррозии на участке трубы, лежащей в глине, связано с работой макропары, катодный участок которой находится в песке, а анодный — в глине.

Таким образом, чередование почв, отличных по своим свойствам, создает благоприятные условия для возникновения и функционирования протяженных макропар на подземной металлической конструкции. При высокой электропроводности почв коррозионный ток макропар может достигать больших величин, создавая серьезные коррозионные разрушения участков конструкции, находящихся в почве с малой кислородной проницаемостью.

2. Макропары, образующиеся на поверхности металла вследствие местной неоднородности почв. Геометрические размеры макропар этого типа могут изменяться в широком диапазоне в зависимости от величины отдельных макровключений в почве (камни, комки другой более плотной почвы и т. д.). Наиболее опасные анодные участки образуются под включениями почвы с меньшей кислородной проницаемостью по сравнению с основной массой почвы. В табл. 1 приводятся экспериментальные данные исследования работы макропары, образующейся между поверхностью железного диска диаметром 10 см, помещенного в хорошо проницаемую для кислорода почву (песок 10% влажности), и отдельным изолированным от остальной поверхности участком того же металла диаметром 15 мм, над которым находился цилиндри-

ческий столбик глины диаметром и высотой 15 мм. Ток макропары измерялся по падению потенциала на сопротивлении, через которое были замкнуты эти два участка поверхности. Очевидно, что работа таких макропар вследствие сравнительно ограниченного размера включения будет в значительно меньшей степени зависеть от омического сопротивления почвы, чем работа протяженных макропар первого типа, и в большей степени определяется поляризационными характеристиками. Из сопоставления весовых потерь с плотностями макрокоррозионных токов (табл. 1) следует, что доля коррозии металла за счет микрокоррозионных токов была почти не ощутима, а основные потери приходились на долю макрокоррозионного тока.

Таблица 1

Скорость коррозии анодного участка металла при работе местной макропары

Плотность тока на анодн. участке макропары, мА/см^2	Потеря веса, рассчит. по колич. прошед. электр. в $\text{г/см}^2 \cdot \text{год}$	Фактич. потеря веса в $\text{г/см}^2 \cdot \text{год}$	Глубина каверн в мм/год
0,033	0,3	0,3	0,3
0,097	0,9	0,9	1,1
0,140	1,4	1,3	1,6

Можно полагать, что большинство наблюдаемых в практике случаев местных поражений подземных металлических конструкций (отсутствие блуждающих токов) обусловлено деятельностью подобных макрокоррозионных пар (первого и второго типа).

3. Макропары, образующиеся на краях конструкций в результате краевого эффекта диффузии кислорода в почве. При исследовании процессов коррозии металлов с кислородной деполяризацией в электролитах было установлено ⁽³⁾, что скорость диффузии кислорода к краям катода имеет гораздо большую величину благодаря использованию добавочных боковых путей диффузии. При диффузии кислорода в почве, где величина диффузионного слоя значительно больше, чем в электролитах, и практически представляет толщину слоя почвы над катодом ⁽²⁾, влияние краевого эффекта для диффузии кислорода будет еще значительнее.

На рис. 2 представлено распределение относительной плотности диффузионного тока по поверхности катода в зависимости от расстояния от края катода l . Измерения производились на железном катоде, состоящем из изолированных друг от друга железных колец, находящихся в одной плоскости (см. схему на рис. 2). Катод поляризовался в песке 10% влажности при потенциале $-0,8$ в. Для уменьшения влияния возможного омического краевого эффекта добавочными внешними сопротивлениями

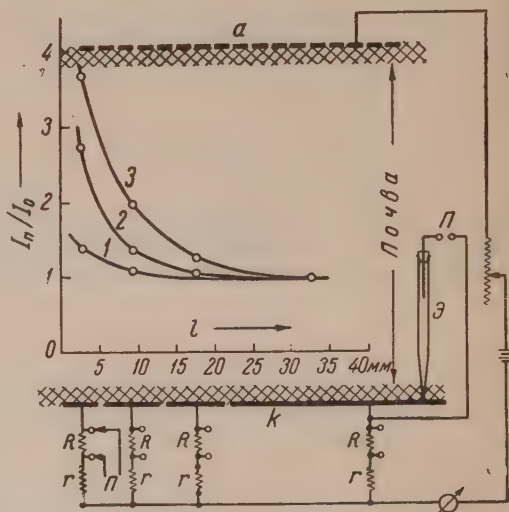


Рис. 2. Распределение относительной плотности диффузионного тока I_n/I_0 в зависимости от расстояния от края катода. (I_n — плотность диффузионного тока в данной зоне катода; I_0 — то же в центре катода). k — катод; a — перфорированный анод; $Э$ — электрод сравнения; R — сопротивления по 2 ома для измерения силы тока по падению потенциала на потенциометре $П$; r — дополнительные сопротивления для выравнивания омического краевого эффекта. 1 — на глубине катода от поверхности почвы 2,5 см; 2 — 5 см; 3 — 10 см

уравнивались различия сопротивлений между каждым кольцом и анодом до определенной величины. Из рис. 2 видно, что плотность тока диффузии кислорода на краях катода значительно больше, чем в центре. Возможность об-

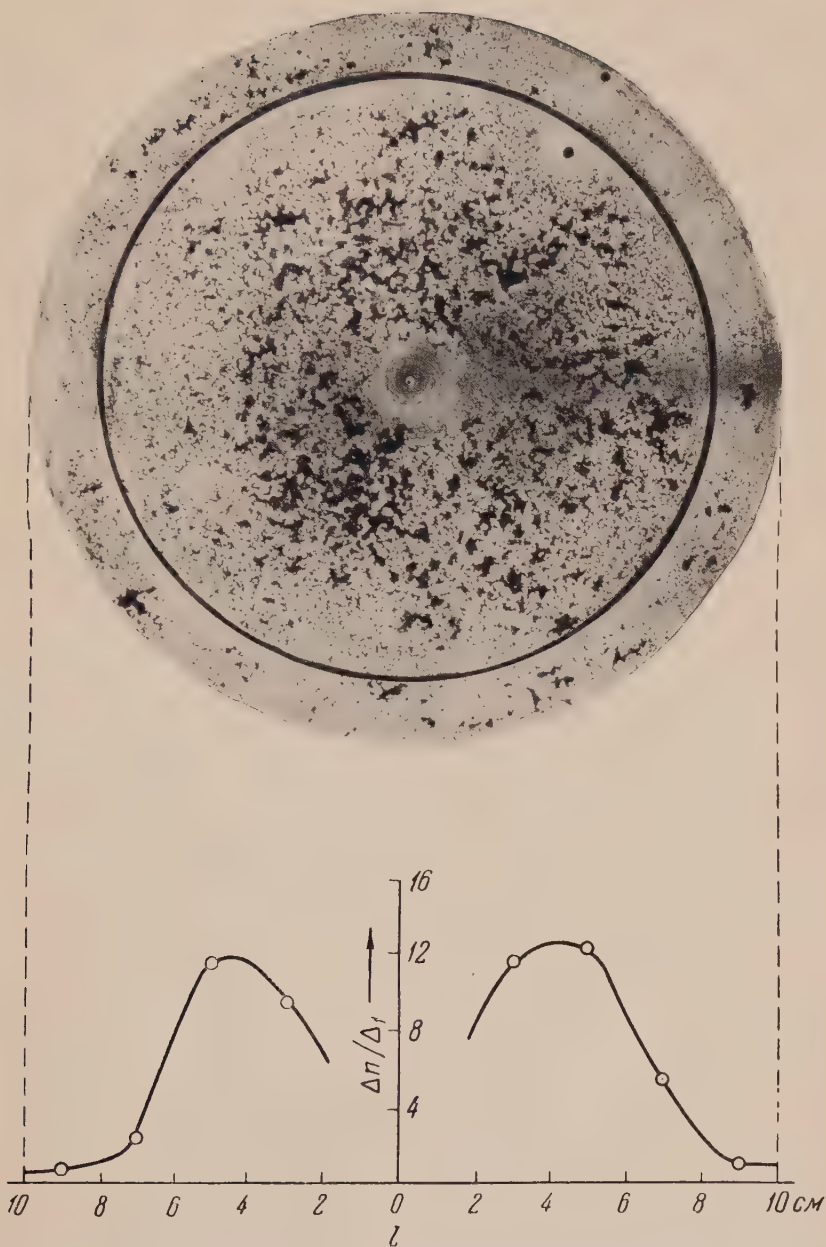


Рис. 3. Внешний вид железного диска после коррозионных испытаний в почве и распределение каверн по его поверхности. $\Delta\pi$ —количества каверн на единице поверхности данной зоны образца; Δl —то же в крайней зоне поверхности; l —расстояние от центра образца

образования макропар вследствие краевого эффекта экспериментально подтверждалась на корродирующих образцах железа, изготовленных в форме дисков диаметром 20 см и состоящих из внешнего кольца и внутреннего диска, находившихся в одной плоскости. Образец помещался в почву (песок 90% влажности), внешнее кольцо через токовый прибор замыкалось на внутренний диск и в процессе коррозии замерялся ток образующейся макропары. На рис. 3 показан внешний вид и распределение коррозионных поражений по поверхности одного из таких образцов после 4 мес. испытания. Видно, что край образца, являющийся катодом, в меньшей степени подвержен коррозионным поражениям. Максимально пораженный участок в виде концентрического пояса не захватывает центра образца, что же связано с влиянием омического сопротивления на распределение тока макропары.

Таким образом, даже в условиях физико-химической однородности почвы у краев металлических конструкций могут образовываться коррозионно-активные макропары вследствие краевого эффекта диффузии кислорода. В практике известны случаи сильной местной коррозии стальных конструкций на участках, прилежащих к краю конструкции (резервуаров, труб и т. д.). С влиянием краевого эффекта необходимо также связать и известную зависимость скорости почвенной коррозии от площади геометрических размеров) образцов (4).

Почвенная коррозия представляет в общем случае сочетание указанных макро- и микрокоррозионных процессов. Пока еще не делалось попыток разделить степень участия в общем материальном эффекте коррозии работы макро- и микропар, хотя это, помимо научного интереса, имеет большое практическое значение и в принципе оказывается вполне возможным. При основной роли в коррозионном процессе макропар неравномерной аэрации коррозионное поражение имеет более выраженный местный характер и сосредоточивается на участках конструкции с меньшей аэрацией. Для почвенной коррозии, определяемой в основном работой микропар, характерен более равномерный вид коррозии, причем коррозия будет более значительной на участках с большей аэрацией. Для работы макропар существенное значение имеет удельное омическое сопротивление почвы, и чем большее, чем большие размеры имеют функционирующие макропары. Для микрокоррозионных процессов при почвенной коррозии омический фактор не имеет существенного значения.

Институт физической химии
Академии наук СССР

Поступило
22 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Д. То м а ш о в, Теория коррозии металлов, М., 1952. ² Н. Д. То м а ш о в, О. Н. М и х а й л о в с к и й, ДАН, 107, № 6 (1956). ³ Н. Д. То м а ш о в, Коррозия металлов с кислородной деполяризацией, Изд. АН СССР, М., 1947. ⁴ Г. В. А к и м о в, Теория и методы исследования коррозии металлов, Изд. АН СССР, М., 1945. ⁵ Ю. Т. в а н с, Коррозия, пассивность и защита металлов, 1941.

Д. Н. ШИГОРИН, член-корреспондент АН СССР М. М. ШЕМЯКИН,
Л. А. ЩУКИНА, М. Н. КОЛОСОВ и Ф. А. МЕНДЕЛЕВИЧ

О ПРИРОДЕ ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНОЙ ВОДОРОДНОЙ СВЯЗИ

В ранее опубликованных работах одного из нас (¹⁻⁶) был сделан вывод, что в образовании внутримолекулярной водородной связи, включенной в систему сопряженных связей, наряду с дипольным и акцепторно-донорным взаимодействием, существенную роль играет непосредственное взаимодействие деформированного (в направлении $\sigma \rightarrow \pi$) электронного облака атома водорода с π -электронным облаком атома кислорода группы $C=O$. В некоторых из указанных работ (^{1, 2}) впервые был поставлен вопрос и об учете энергии π -электронного взаимодействия при образовании водородной связи, энергия которой E в общем случае равна сумме $E_d + E_a + E_\pi$ (E_d , E_a и E_π — величины энергий, соответствующие дипольному, акцепторно-донорному и π -электронному взаимодействиям). Энергия водородной связи может быть приблизительно вычислена (⁷) по формуле $E = \frac{1}{k} \frac{v_0 - v}{v_0}$ ккал. Доля энергии π -электронного взаимодействия (ΔE_π) от общей энергии водородной связи, выраженная в процентах, равна (⁶):

$$\Delta E_\pi = \frac{E_\pi \cdot 100}{E} = \frac{[E - (E_d + E_a)] \cdot 100}{E}.$$

В последней формуле сумма энергий дипольного и акцепторно-донорного взаимодействия $E_d + E_a$ принимается равной энергии водородной связи в соединении, выбранном в качестве стандарта, в котором внутримолекулярная водородная связь осуществляется без π -электронного взаимодействия.

В данной работе мы стремились установить зависимость между строением молекул и степенью участия их π -электронов в осуществлении внутримолекулярной водородной связи. Эта степень участия π -электронов может проявляться в зависимости от структурных особенностей соединений различным образом. Здесь возможны три случая. Наиболее важный случай внутримолекулярной водородной связи $C=O \cdots H-N-O$ характеризуется участием π -электронов не только группы $C=O$, но и сопряженных с ней кратных связей всей молекулы. Например, у ацетилацетона, трополона, β -метилтрополона, α -оксиантрахинонов и т. п. π -электронное взаимодействие в циклах с водородной связью должно быть очень значительным и может в сильной степени влиять на общую энергию молекулы. Дело обстоит иначе в том случае, когда в осуществлении внутримолекулярной водородной связи принимают участие π -электроны только группы $C=O$, как это имеет место, например, у оксокетенола, бензоина и диацетонового спирта. В этих молекулах группы, участвующие в образовании водородной связи, не включены в единую систему сопряженных связей, и поэтому в рассматриваемых соединениях π -электронное взаимодействие в циклах с водородной связью будет значительно слабее. Наконец, существует еще одна группа соединений, в которых внутримолекулярная водородная связь образуется с участием группировок $C=O$ и $H-O$, не имеющих π -электронов, но находящихся в σ , π -сопряжении с остальной частью молекулы. К этим соединениям относятся *o*-метоксибензойная кислота, метиловый эфир 1,8-диоксиафта-

ина и др. Здесь π -электроны молекулы должны в некоторой степени включаться в образование цикла с водородной связью благодаря наличию π -сопряжения, т. е. взаимодействия деформированных ($\sigma \rightarrow \pi$) облаков π -электронов связей $C=O$ и $N-H$ (а также p -электронов «неподвижных пар» атома кислорода) с π -электронами сопряженных связей. На основании изложенных соображений нами были исследованы инфракрасные спектры поглощения различных представителей всех трех рассмотренных выше типов соединений с внутримолекулярной водородной связью. В качестве стандартных соединений с внутримолекулярной водородной связью без π -электронного взаимодействия были выбраны монометилэфир этиленгликоля (водородная связь в пятичленном цикле) и монометилэфир триметиленгликоля (водородная связь в шестичленном цикле). Экспериментальные результаты по измерению частот валентных колебаний групп OH приведены в табл. 1.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что полосы валентных колебаний групп $O-H\cdots$ в соединениях, выбранных нами в качестве стандартных, очень слабо размыты ($\nu = 50\text{ см}^{-1}$) и мало смещены в сторону длинных волн ($\Delta\nu = 60-70\text{ см}^{-1}$). В то же время эти полосы сильно размыты ($\nu = 250-300\text{ см}^{-1}$) и резко смещены в сторону длинных волн ($\Delta\nu = 320-570\text{ см}^{-1}$) в том случае, когда группы $O-H\cdots$ участвуют в образовании внутримолекулярных водородных связей, включенных в пяти- или шестичленные циклы со значительным π -электронным взаимодействием (ацетилацетон, трополон, β -метилтрополон, α -оксиантрахиноны и т. п.). В соединениях этого типа доля энергии π -электронного взаимодействия (ΔE_π) достигает почти 90% от общей энергии водородной связи. Такого рода внутримолекулярные водородные связи весьма устойчивы и в сильной мере стабилизируют молекулы. У таких молекул энергия их образования на 20—30 ккал больше, чем она была бы, если бы у них отсутствовала внутримолекулярная водородная связь. В рассматриваемом случае энергия образования молекулы увеличена не столько за счет энергии самой внутримолекулярной водородной связи, сколько в результате ее влияния на энергию π -электронов всей системы. При этом следует отметить, что для данного типа соединений межатомные расстояния в связи $O\cdots H$, рассчитанные исходя из стандартных значений связей и углов, находятся в явном противоречии с величинами частот валентных колебаний групп $O-H$. Причиной этого является то, что в молекулах ацетилацетона, трополонов, α -оксиантрахинонов и т. п. при образовании внутримолекулярной водородной связи происходят существенные изменения в распределении электронной плотности, благодаря чему изменяются и межатомные расстояния. Так например, экспериментально найденное значение межатомного расстояния $O\cdots H$ в пятичленном цикле трополона значительно меньше, чем в гваяколе⁽¹⁰⁾. Если π -электронное взаимодействие в циклах с водородной связью велико и выполнено условие плоскостного расположения цикла, то характер последнего (пяти- или шестичленный) не оказывает существенного влияния на свойства водородной связи (смещение и размытие полос валентных колебаний групп $O-H\cdots$, энергию образования, реакционную способность и др.); здесь, однако, важно, чтобы суммарное число атомов в системе было четным. Что касается спектров соединений второй группы (оксокетол, бензоин, диацетоновый спирт), у которых внутримолекулярные водородные связи осуществляются с участием только π -электронов группировки $C=O$, то в этом случае полосы валентных колебаний $O-H\cdots$ размыты слабее ($\nu = 60-100\text{ см}^{-1}$) и меньше смещены ($\Delta\nu = 94-147\text{ см}^{-1}$), чем у рассмотренной выше группы соединений, а величины ΔE_π составляют лишь 26—60%. Наконец, в спектрах третьей группы соединений (*o*-метоксибензойная кислота, монометилэфир 1,8-диоксинафталина и др.), у которых внутримолекулярная водородная связь осуществляется с участием π -электронов других частей молекулы

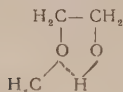
Таблица 1*

N ₂ N ₂ пп.	$\nu_{\text{O}-\text{H}}$ см^{-1}	$\nu_0 - \nu = \Delta\nu$ см^{-1}	$E =$ $= \frac{1}{h} \frac{\nu_0 - \nu}{\nu_0}$ ккал	$\frac{E_{\pi}}{E} \cdot 100$	$\frac{I_{\nu}}{I_{\nu_0}}$	$\frac{a_{\nu}}{a_{\nu_0}}$	$r_{\text{O} \cdots \text{H}}$ Å
1а	3665	0	0	0	1	1	
1б	3605	60	0,96	0			1,80
2	3605	0	0	0	1	1	
3	3530	55	0,90	0	1,2	1,25	2,20
4	3475	147	2,38	59,7	1,4	1,5	1,95
5	3468	147	2,39	60,0	1,5	2,0	1,95
6	3403	182	2,98	67,8			2,25
7	3398	187	3,07	68,7	2	3	2,25
8	3395	190	3,11	69,1			2,25
9	3370	215	3,52	72,7			2,25
10	3116	504	8,19	88,2	1	5—6	2,25
11	3100	520	8,45	88,6			2,25
12а	3650	0	0	0	1	1	
12б	3580	70	1,12	0	1	1,2	1,65
13а	3652	0	0	0	1	1	
13б	3585	67	1,08	0		1,1	1,65
14	3524	94	1,52	26,2	1,4	1,25	1,65
15	3357	228	3,74	70,0	3,7	2,6	1,65
16	3535 (β)				1	1	
	3265 (α)	320	5,25	78,7	2,2	3	1,65
17	3230	355	5,82	80,7	2,6	3,3	1,65
18	3205	380	6,23	82,0	2,5	3,4	1,65
19	3050	570	9,26	87,9		5—6	1,65
20	3431	189	3,07	63,5	2,7	2,6	1,63
21	3620	0	0	0			
22	3423	197	3,20	65,0			1,63
23	3425	195	3,16	64,5			1,63
24	3620 (β)	0	0	0	1	1	
	3150 (α)	470	7,64	85,3	1	6—7	1,65
25	3150	470	7,64	85,3		6—7	1,65

* На основании измерений спектров веществ в парообразном состоянии и аналогии между сходными по строению веществами приняты следующие частоты валентных колебаний свободных групп ОН (ν_0): для соединения 1 — 3665 см^{-1} ; 13 — 3652 см^{-1} ; 10, 11, 19, 20, 22, 23, 24, 25 — 3620 см^{-1} ; 3, 6, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 18 — 3585 см^{-1} ; 4 — 3622 см^{-1} ; 5 — 3615 см^{-1} ; 14 — 3618 см^{-1} . E — энергия водородной связи; $h = 1,7 \cdot 10^{-2}$ ккал; $\frac{E_{\pi}}{E} \cdot 100$ — доля энергии π -электронного взаимодействия в %; I_{ν} / I_{ν_0} — отношение интегральных интенсивностей сравниваемых полос; a_{ν} / a_{ν_0} — отношение полуширин полос; $r_{\text{O} \cdots \text{H}}$ — расчетные величины межатомных расстояний О...Н, полученные, исходя из стандартных значений длин связей и углов между ними.

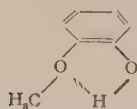
1а) Монометилловый эфир этиленгликоля (пары; 120—122°) — стандартное вещество
 $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$

1б) То же (CCl_4 ; 1 : 400)

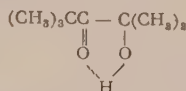


2. Фенол (CCl_4 ; 1 : 400)

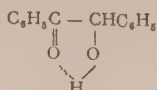
3. Гваякол (CCl_4 ; 1 : 400)



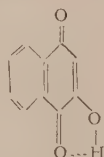
4. Оксоктенон (CCl_4 ; 1 : 400) (ср. (11))



5. Бензоин (CCl_4 ; 1 : 400)



6. 2-Окси-1,4-нафтохинон (CCl_4 ; 1 : 600)

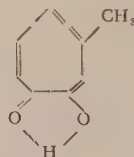


7. 2-Метил-3-окси-1,4-нафтохинон (CCl_4 ; 1 : 400)

8. 2-Бензил-3-окси-1,4-нафтохинон (CCl_4 ; 1 : 600)

9. 2-(β-нафтил)-3-окси-1,4-нафтохинон (CCl_4 ; 1 : 600)

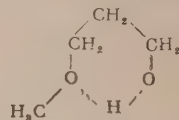
10. β-Метилтрополон (CCl_4 ; 1 : 400)



11. Трополон (8,8)

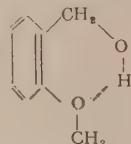
12а) Монометилловый эфир триэтиленгликоля (пары; 160°) — стандартное вещество
 $\text{CO}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$

12б) То же (CCl_4 ; 1 : 400)

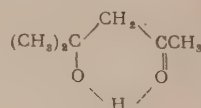


13а) o-Метоксibenзиловый спирт (пары; 163—164°)
 $\text{o}-\text{CH}_3\text{OC}_6\text{H}_4\text{CH}_2\text{OH}$

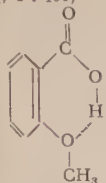
13б) То же (CCl_4 ; 1 : 400)



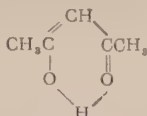
14. Диацетонный спирт (CCl_4 ; 1 : 400)



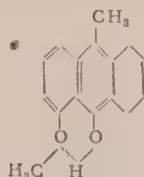
о-Метоксибензойная кислота-
(CCl₄; 1 : 400)



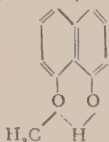
19. Ацетилацетон (CCl₄;
1 : 400)



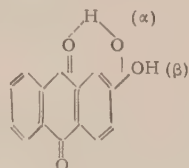
23. 10-Окси-1-метокси-9-метил-5,6,7,8-тетрагидроантрацен
(CCl₄; 1 : 400)



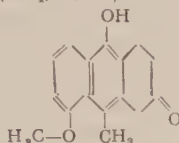
20. Монометилловый эфир 1,8-диоксинафталина (CCl₄; 1 : 400)



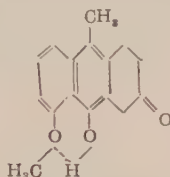
24. Ализарин (пары; 290°)



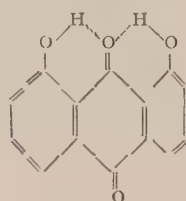
21. 9-Окси-1-метокси-7-оксо-10-метил-5,6,7,8-тетрагидроантрацен (CCl₄; 1 : 600)



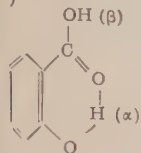
22. 10-Окси-1-метокси-7-оксо-9-метил-5,6,7,8-тетрагидроантрацен (CCl₄; 1 : 400)



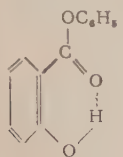
25. 1,8-Диксиантрахинон (пары; 300°)



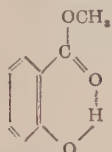
Салициловая кислота (пары; 144°)



Салол (CCl₄; 1 : 400)



Метилсалицилат (CCl₄; 400)



благодаря σ , π -сопряжению, полосы валентных колебаний групп $O-H \cdots$ характеризуются несколько большим размытием ($\alpha_\nu = 130-150 \text{ см}^{-1}$) с смещением ($\Delta\nu = 189-228 \text{ см}^{-1}$) по сравнению с соединениями предыдущей группы, а величины ΔE_π достигают 63—70 %.

Таким образом, при осуществлении внутримолекулярной водородной связи величина энергии π -электронного взаимодействия зависит: 1) от наличия единой системы сопряженных связей, охватывающей как цикл водородной связи, так и другие части молекулы; 2) от четности числа ленов в этой системе; 3) от плоскостного расположения циклов с водородной связью и остальных частей системы; 4) от количества и характера распределения π -электронов в системе. Распределение электронной плотности, свойства связей (S) могут быть рассчитаны по уравнению $S = S_0 \mp \Delta S \cdot n \pm \frac{1}{6} \Delta S \cdot n_1$ (n и n_1 — соответственно, число ближайших и последующих соседей), выведенному на основании (12).

Физико-химический институт
им. Л. Я. Карпова

Поступило
9 I 1956

Институт биологической и медицинской химии
Академии медицинских наук СССР

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. Н. Шигорин, ЖФХ, **27**, 554 (1953). ² Д. Н. Шигорин, Изв. АН СССР, сер. физ., **17**, 596 (1953). ³ Д. Н. Шигорин, Изв. АН СССР, сер. физ., **6**, 723 (1954). ⁴ Д. Н. Шигорин, Н. С. Докунин, ДАН, **100**, 323 (1955). ⁵ Д. Н. Шигорин, Н. С. Докунин, ЖФХ, **29**, 1958 (1955). ⁶ Д. Н. Шигорин, Н. С. Докунин, Р. М. Badger, S. H. Bauer, J. Chem. Phys., **839** (1937). ⁷ Р. L. Pauson, Chem. Rev., **55**, 10 (1955). ⁸ К. Kuratani, I. Tsuboi, T. Shimanouchi, Bull. Chem. Soc. Japan, **25**, 250 (1952); Chem. Abstr., **47**, 8516 (1953). ⁹ I. Azami, K. Higasi, Molecular Structures and Related Compounds, Japan, 1954. ¹⁰ М. И. Батуев, Л. И. Анцус, ДАН, **100**, 67 (1955). ¹¹ Д. Н. Шигорин, ЖФХ, **25**, 737 (1951).

М. Г. БРАЖНИКОВА, Н. Н. ЛОМАКИНА и М. К. КУДИНОВА

О РЕАКЦИИ АЛЬБОМИЦИНА С ЖЕЛЕЗОМ

(Представлено академиком В. А. Энгельгардтом 5 I 1956)

Ранее нами было установлено ⁽¹⁾, что альбомуцин представляет собой полипептид, содержащий железо. Железо подвижно связано с полипептидной частью антибиотика и может быть легко удалено и вновь введено альбомуцина. При удалении железа антибактериальная активность альбомуцина резко снижается, при введении железа регенерируется. В связи с этим было интересно исследовать вопрос о том, могут ли другие металлы заменить железо в молекуле альбомуцина. С этой целью из препарата альбомуцина с активностью 500 000 ед/мг описанным ранее методом ⁽¹⁾ удалялось железо. Затем в раствор этого препарата добавлялись различные катионы в расчете 60 мкг каждого катиона на 1 мг альбомуцина, и методом диффузии на агар определялась регенерация активности, а также регенерация окраски. Результаты опыта приведены в табл. 1.

Таблица 1

Катион	Fe ⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	Mg	Ni	Zn	Mn	Co	Cu
Регенерация активности, %	60	72	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет

Как видно из таблицы, к регенерации активности альбомуцина приводит только трехвалентное и двухвалентное железо. Интересно отметить, что при добавлении Fe⁺⁺ окраска раствора регенерируется слабо.

При добавлении к бесцветным растворам альбомуцина сперва указанных катионов, а затем трехвалентного железа, все растворы приобретают нормальную желтую окраску и исходную или близкую к исходной активность, за исключением раствора с Al⁺⁺⁺. Последний раствор некоторое время остается бесцветным, а затем становится светлорозовым. При этом активность раствора регенерируется лишь частично. Можно предположить, что алюминий каким-то образом реагирует с альбомуцином и тормозит последующее присоединение железа к альбомуцину. Тормозящее действие алюминия видно из данных табл. 2.

Таблица 2

Катион	Fe ⁺⁺⁺ 36 мкг	Fe ⁺⁺ 36 мкг	Mg 36 мкг + Fe ⁺⁺⁺ 36 мкг	Al 36 мкг + Fe ⁺⁺⁺ 36 мкг
Регенерация активности, %	84	100	91	49

Как показали наши дальнейшие исследования, можно получить препарат альбомуцина с двойным содержанием железа, который мы условно называли альбомуцин-Fe. Это соединение резко отличается по своим свойствам от обычного препарата антибиотика. Обычный альбомуцин хорошо растворим в воде, адсорбируется на колонке с пермутитом из 80% ацетонового раствора и снимается с последней водой, а альбомуцин-Fe нерастворим в воде при нейтральной реакции среды, нерастворим в 80% ацетоне, задер-

живается колонкой с пермутитом из водного слабо кислого раствора и элируется с колонки 0,1% раствором щелочи, т. е. является более ярко выраженным основанием, чем альбомуцин. Альбомуцин-Fe обладает более темной окраской и содержит, как было установлено, больше железа, чем нормальный альбомуцин. Этот препарат можно легко получить, добавляя в водный раствор альбомуцина избыток кислого водного раствора $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, а затем осаждаая продукт реакции ацетоном. Подобный препарат получается также при добавлении кислого ацетонового (80%) раствора сульфата железа в 80% ацетоновый раствор альбомуцина. При этом альбомуцин-Fe количественно осаждается.

В описанных условиях происходит реакция между железом и альбомуцином; последний, кроме имеющегося у него одного атома трехвалентного железа, присоединяет еще один атом железа.

Для того чтобы при получении альбомуцина избавиться от избытка железа, не вошедшего в реакцию, препарат подвергался тщательной отмывке и проводился через производное. В результате всех этих операций из препарата альбомуцина, с активностью 580 000 ед/мг и с содержанием железа 33 $\mu\text{г}/\text{мг}$, при обогащении железом был получен препарат, с содержанием железа 65 $\mu\text{г}/\text{мг}$. Содержание железа в новом препарате альбомуцина в среднем в 2 раза превышает содержание железа в исходном препарате.

Нами были выяснены условия присоединения железа к альбомуцину. При подкислении водного раствора, содержащего альбомуцин и железо до pH 3—4, альбомуцин реагирует с железом. При нейтрализации такого раствора или добавлении ацетона до 80% альбомуцин-Fe выпадает в виде красно-коричневого осадка.

Если водный раствор железа добавлять в раствор альбомуцина при нейтральной или слабо щелочной реакции, то присоединения железа не происходит. Если сначала получить альбомуцин-Fe при pH 3,0, а затем не выделяя его из раствора, осторожно подщелочить раствор, то полученный после осаждения из этого раствора препарат будет обладать всеми свойствами нормального альбомуцина, т. е. хорошо растворяться в воде, не задерживаться пермутитом и т. д. Последнее указывает на то, что при щелочной реакции альбомуцин-Fe легко разлагается.

Поведение альбомуцина-Fe на колонке с пермутитом позволяет предпологать, что связь альбомуцина со вторым атомом железа носит иной характер, чем с первым. Нормальный альбомуцин с одним атомом железа в отношении катионообменника ведет себя как нейтральное соединение и не задерживается последним в водных растворах, а присоединение второго атома резко меняет полярные свойства антибиотика, сообщая ему свойства катиона. Очевидно, в этом случае железо ионными силами удерживается на катионообменнике, а вместе с ним удерживается и альбомуцин.

Эти соображения привели нас к предположению, что при известных условиях, разрывая связь между вторым атомом железа и альбомуцином, мы можем получить нормальный альбомуцин. Предположение оказалось справедливым и было подтверждено рядом опытов. При элюции альбомуцина-Fe с пермутита 0,1% NaOH в раствор переходит нормальный альбомуцин, а второй атом железа задерживается колонкой с пермутитом. Следовательно, 0,1% раствор NaOH осуществляет отщепление альбомуцина от крепко удерживаемого на колонке атома железа. Предварительные опыты, проведенные с растворами железа, показали, что железо задерживается ионообменником при всех значениях pH в количестве 350 $\mu\text{г}$ на 1 ионообменника и не вытесняется с колонки 0,1% раствором щелочи.

Нами были поставлены эксперименты, показывающие зависимость между количеством железа, добавленного в водный раствор альбомуцина и образовавшегося альбомуцина-Fe. В этом случае разделение нормального альбомуцина и альбомуцина-Fe производилось нами через образование производного, которое затем разлагалось на пермутите.

Несмотря на то, что в альбомуцине-Fe содержится в 2 раза больше же

зеса, чем в исходном альбомуцине, для перевода всего альбомуцина, содержащегося в водном растворе, в альбомуцин-Fe, требуется большой избыток железа в растворе, ибо при добавлении возрастающих количеств железа устанавливается обратимое равновесие между двумя формами альбомуцина. Эта зависимость показана на рис. 1. По оси абсцисс отложено отношение концентраций прибавленного железа к железу, содержащемуся в альбомуцине, по оси ординат — содержание альбомуцина-Fe и нормального альбомуцина в процентах. Экспериментальные точки обеих кривых получены путем независимого определения.

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Альбомуцин при значении pH ниже 6,0 присоединяет первый атом железа и образует альбомуцин-Fe, резко отличающийся по своим физическим и химическим свойствам от исходного альбомуцина.

2. При значениях pH выше 6,0 это соединение разлагается и из него может быть получен исходный альбомуцин.

3. Антибактериальная активность альбомуцина-Fe совпадает с активностью исходного альбомуцина.

4. В молекуле альбомуцина первый атом железа определяет антибактериальную активность и не может быть заменен ни одним из испытанных катионов.

Институт по изысканию новых антибиотиков
Академии медицинских наук СССР

Поступило
27 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. Г. Бражникова, Н. Н. Ломакина, Л. И. Муравьева, ДАН, 109, 827 (1954).

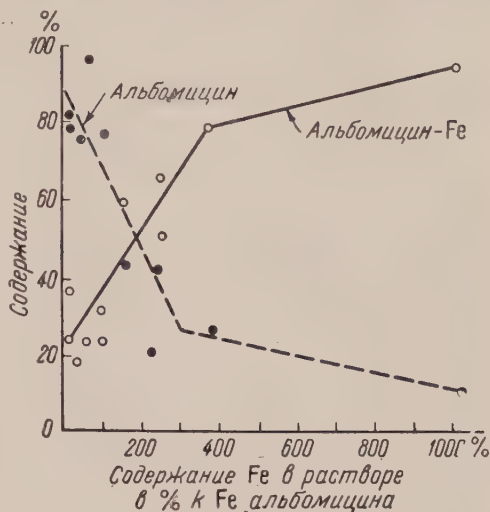


Рис. 1. Зависимость образования альбомуцина-Fe от концентрации железа в растворе

Г. А. ДЕБОРИН

ВЛИЯНИЕ ОКИСЛЕНИЯ ЭРГОСТЕРИНА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЕГО КОМПЛЕКСОВ С БЕЛКОМ

(Представлено академиком А. И. Опариным 30 XII 1955)

Ранее ^(1, 2) нам удалось внести ясность в вопрос о роли белкового компонента в образовании и устойчивости комплексов белков со стеролами. Известно, однако, что устойчивость липопротеидов к различным воздействиям определяется не только их белковой компонентой, но в значительной мере зависит и от состояния молекулы липоида. Ли с сотр. ⁽³⁾ разлагали липовителлин из яичных желтков спиртом на его белковую и липоидную компоненты и определяли скорость автоокисления на воздухе исходного липопротеида, смеси липоида и белка и одного липоида. Вопреки данным Феволда ⁽⁴⁾ о повышении стабильности фосфолипидов, соединенных с белком, против автоокисления, они не смогли обнаружить этого явления. Кен с сотр. ⁽⁵⁾, а также Онкли ⁽⁶⁾ пришли к выводу, что окисление липоида приводит к распаду β -липопротеида. Рей с сотр. ⁽⁷⁾ установили при помощи ультрацентрифуги, что распад β -липопротеидов, выделенных из сыворотки крови кролика и человека, вызывается окислением липоидного компонента

Таблица 1

Продолжит. стояния в час.	Исходн. конц. белка в моно- слое в мг/м ²	Предельн. площадь белка в монослое в м ² /мг	Мол. вес. белка в монослое
2	0,438	1,27	80000
5	0,490	1,3	80000
7	0,482	1,33	80000
12	0,490	1,5	40000
15	0,355	1,73	40000
23	0,493	1,87	40000
48	0,370	1,9	40000

кислородом воздуха. При отсутствии антиоксидантов в растворе способствует его стабилизации, а наличие в растворе следов ионов меди катализирует процесс окисления β -липопротеида.

В связи с этими данными представляло большой интерес выяснить, как влияет на образование и устойчивость искусственных белково-стероловых комплексов изменение молекулы стерола, вызываемое его окислением.

3—4% водный раствор кристаллического яичного альбумина тщательно перемешивался с эргостерином в термостате при 40° в течение 10 мин. Избыток эргостерина отфильтровывался, а раствор белка разбавлялся в 100 раз дистиллированной водой. При помощи калиброванной пипетки белок наносился на поверхность 5% раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, находящегося в ванне поверхностных весов; по достижении равновесия снималась изотерма сжимаемости монослоя белка в интервале поверхностных давлений, не превышающих 0,5—0,7 дин/см². По этим кривым рассчитывался молекулярный вес белка в монослое. Полученный комплекс яичного альбумина с эргостерином оставлялся стоять в холодильнике при 5—10°, и через определенные промежутки времени отбиралась проба, в которой определялся молекулярный вес белка в монослое; полученные данные приведены в табл. 1.

На рис. 1 приведены графики зависимости произведения ΦA от поверхностного давления Φ в дин/см² для этих опытов.

Из данных табл. 1 и рис. 1 видно, что в условиях опыта комплекс яичного альбумина с эргостерином сохраняется лишь в течение времени, не превышающего 7—10 час. При более длительном хранении комплекс распадается на мономерные белковые молекулы. Характерно также, что с увеличением длительности стояния возрастает предельная площадь, занимаемая белком в монослое, что указывает на постепенные морфологические изменения белковой молекулы, происходящие в процессе опыта.

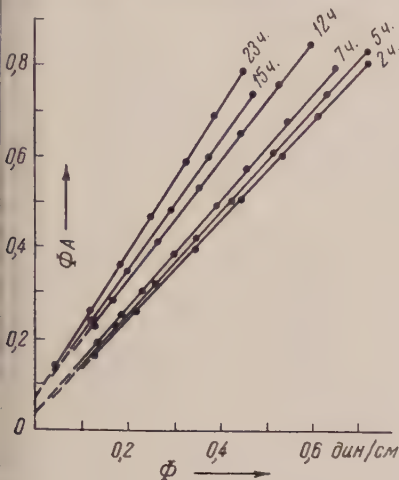


Рис. 1

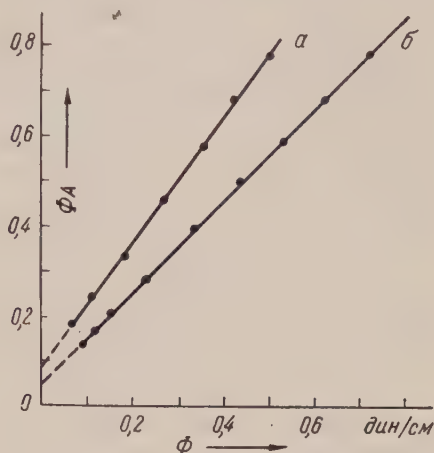


Рис. 2

Возникало предположение, что распад белково-стеролового комплекса при стоянии может являться следствием смещения равновесия в системе белок — комплекс в результате пониженной температуры. Для выяснения этого вопроса мы осуществили хранение комплекса при комнатной температуре (20°) в течение 20 час. Для консервации белка в этих условиях был добавлен биомицин. Результаты этого опыта приведены на рис. 2 (кривая *б* относится к исходному комплексу белка со стеролом, а кривая *а* отвечает комплексу, хранившемуся в течение 20 час. при 20° в присутствии биомицина) и свидетельствуют о том, что в результате длительного стояния при комнатной температуре комплекс белка с эргостерином распадается на исходные компоненты.

Для доказательства того, что распад комплекса связан с окислением эргостерина, нами был поставлен ряд дополнительных опытов.

1. Изучалась устойчивость комплексов яичного альбумина с эргостерином при отсутствии воздуха в системе. Для этого опыт ставился в трубке Гунберга, из которой эвакуировался воздух, а затем раствор подвергался хранению в холодильнике в течение 48 час. В табл. 2 приведены результаты этого опыта, показывающие, что при отсутствии воздуха комплекс яичного альбумина с эргостерином не разрушается даже в результате 48-часового стояния.

2. К раствору комплекса добавлялся восстановитель. Установлено, что добавление к раствору 0,25% цистеина увеличивает время сохранения комплекса при выбранных условиях с 7—10 час. до 18—20 час.; полученные данные приведены в табл. 3.

В связи с этим представляют интерес данные Г. В. Троицкого⁽⁸⁾ о том, что благодаря наличию у β -глобулинов крови антиоксидантных свойств они оказывают защитное действие по отношению к окислению витаминов молекулярным кислородом.

3. Была сделана попытка восстановить распавшийся комплекс яичного альбумина с эргостерином дополнительным перемешиванием раствора.

При этом нового образования комплекса не происходило. Добавление к этой системе новой порции эргостерина и перемешивание раствора в термостате при 40° приводило к образованию белково-стеронового комплекса. Отсюда нами был сделан вывод о том, что распад комплекса был вызван не изменением его белкового компонента, а изменением молекулы стерола.

Что распад полученного комплекса в изучавшихся условиях был вызван окислением стерола, было нами окончательно доказано в опытах по получению комплекса яичного альбумина с кальциферолом (витамином D₂). Метод получения комплекса кальциферола с белком был тем же, каким мы пользовались для получения комплексов с эргостерином. Оказалось, что витамин D₂ не образует комплексов с яичным альбумином в условиях наших экспериментов.

Таблица 2

Вариант опыта	Конц. белка в монослое в мг/м ²		Мол. вес белка в монослое
	исходн.	предельн.	
48 час. в присутствии воздуха	0,370	1,9	40000
48 час. без воздуха	0,535	0,7	80000

Таблица 3

Вариант опыта	Конц. белка в монослое в мг/м ²		Мол. вес белка в монослое
	исходн.	предельн.	
Белок + эргостерин через 8 час.	0,456	0,97	80000
Белок + эргостерин через 18 час.	0,410	1,23	40000
Белок + эргостерин + 0,25% цистеина через 18 час.	0,375	1,56	80000
Белок + эргостерин + 0,25% цистеина через 21 час.	0,425	1,83	40000

Таким образом, в согласии с фактами, известными для естественных липопротеидов, установлено, что лабильность искусственных белково-стероновых комплексов определяется не только состоянием белковой молекулы, но зависит также и от состояния молекулы стерола. Это еще больше подчеркивает найденные нами ранее черты сходства искусственных комплексов белков со стеролами с липопротеидами, выделенными из живых организмов.

В свете наших данных о лабильности и легкой изменчивости комплексов белков с липоидами под влиянием различных факторов можно представить себе механизм переноса в организме липоидов, витаминов, жирных кислот и других жирорастворимых веществ в виде лабильных комплексов с белком. Изменение условий среды (рН, температура, состав и концентрация солей, окислительно-восстановительный потенциал и др.), а возможно, также и вытеснительная адсорбция (8) приводят к распаду комплекса и высвобождению липоида. Не подлежит сомнению, однако, что участие белково-липидных комплексов в обмене веществ не органичивается только их транспортной функцией, а, повидимому, состоит также в регулировании биологической активности как белкового, так и липоидного компонентов.

В экспериментальной части работы принимали участие Г. Ф. Иващенко и О. М. Шибанова.

Институт биохимии им. А. Н. Баха
Академии наук СССР

Поступило
29 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. А. Деборин, Л. Б. Горбачева, Биохимия, 18, № 5 (1953). ² Г. А. Деборин, О. М. Шибанова, ДАН, 105, № 3 (1955). ³ C. Lea, I. Hawke, Biochem. J., 50, 67 (1951). ⁴ H. Fevold, A. Lausten, Arch. Biochem., 11, 1 (1946). ⁵ E. Cohn, Disc. Farad. Soc., 6, 92 (1949). ⁶ J. Onkley, F. Gurd, Blood Cells and Plasma Proteins, N. Y., 1953. ⁷ B. Ray, E. Davissen, H. Crespi, J. Phys. Chem., 58, 841 (1954). ⁸ Г. В. Троицкий, Л. С. Тарасова, Биохимия, 20, № 1 (1955).

А. Ф. КАЛИНКЕВИЧ и В. А. АЛЕКСАНДРОВСКАЯ

ПРЕВРАЩЕНИЕ ВЕЩЕСТВ В ПРОРАСТАЮЩИХ КЛУБНЯХ КАРТОФЕЛЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ УДОБРЕНИЙ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 6 II 1956)

При внесении минеральных удобрений в рядки вместе с семенами зерновых культур питательные вещества быстро проникают во все части семени и оказывают влияние на процессы превращения запасных пластических веществ (^{1,2}).

Проведенные нами опыты с внесением в гнезда вместе с клубнями меченого суперфосфата также показали, что фосфор поступает не только в молодые растения, но и в кожуру и даже внутрь мякоти клубня (см. табл. 1).

Опыты показывают, что при прорастании происходит не только односторонний отток пластических веществ из материнского клубня, но одновременно идет и обратный процесс поступления воды и минеральных веществ внутрь клубня (³).

Поступившие внутрь материнского клубня питательные вещества удобрений или почвы вызывают изменения в превращении запасных органических соединений клубня.

Результаты некоторых опытов и исследований по влиянию различных минеральных удобрений при внесении их в гнезда вместе с клубнями картофеля и описываются в данном сообщении.

Методика опытов заключалась в следующем. Для опыта отбирались одинаковые по объему, внешнему виду, числу глазков и весу клубни картофеля. Сорт картофеля Лорх. Средний вес клубня 100 г. Но даже при таком тщательном отборе клубней, между отдельными клубнями имели место большие индивидуальные отклонения по содержанию в них сахаров, азотистых веществ и интенсивности дыхания. Для того чтобы избежать ошибок от индивидуальных особенностей отдельных клубней, в опытах каждый клубень строго делился на две равные половины по 50 г каждая, из которых одна шла для опыта, а вторая для контроля. Таким образом, на основании различия в обмене веществ между контрольной и опытной половинками делалось заключение об изменениях в обмене веществ, происшедших под влиянием питания. В сосуды, наполненные среднесуглинистой подзолистой почвой, по аналогии с производственными условиями, делались лунки на глубину 9 см, в которые сажались по две половинки клубней с меткой на кожуре и вносились удобрения, согласно схеме опыта. В каждом

Таблица 1

Поступление P^{32} в клубень картофеля при внесении меченого суперфосфата в гнезда

Внесено в гнездо	Дата	Импульсов в минуту на 1 г сух. вещ.	
		кожица	середина мякоти
Контроль	20 VI	55	57
Меченый суперфосфат	20 VI	670	225
Контроль	26 VI	50	50
Меченый суперфосфат	26 VI	443	212

сосуде было по 8 кг почвы. Повторность опыта не менее 5-кратной. В каждый сосуд вносились удобрения из расчета: гранулированного суперфосфата 7 г, аммиачной селитры 4 г, хлористого калия 2,7 г, что соответствует 30 кг/га действующего начала каждого удобрения. Выделение углекислоты клубнями определялось путем поглощения раствором барита в чашках Конвея. Крахмал определялся по сахарам, после гидролиза соляной кислотой, по Бертрану с предварительным осаждением белков основным уксуснокислым свинцом. Раствор, предназначенный для определения сахаров, служил также для определения растворимого азота, а белковый азот путем сжигания осадка после осаждения белков. Определение азота производилось по Кельдалю.

Таблица 2

Влияние удобрений, внесенных в гнезда, на превращение веществ в материнских клубнях (на два клубня весом 100 г)

Внесено удобрений	Дополнительно выделено мг CO_2 за 1 час через ~10 дней после посадки картофеля	Превратилось крахмала в сахар (% от исходного)		Использовано азота клубней молодыми растениями за 40 дней (мг)	Число проросших глазков	Вес растений в гнездах через 55 дней после посадки клубней (мг)	
		за 20 дней	за 40 дней			корни	надземная масса
O	2,3	1,0	48,6	78	4	16	124
P_{40}	2,9	9,3	48,0	124	4	19	253
$\text{N}_{33}\text{P}_{40}$	7,5	6,7	83,3	270	8	40	562
$\text{N}_{33}\text{P}_{40}\text{K}_{28}$	7,4	4,6	57,4	162	8	29	437

Как видно из данных табл. 2, внесение суперфосфата в гнезда с клубнями картофеля не изменяло дыхания в первые 20 дней после посадки, не ускоряло процесс превращения крахмала в сахара. Повышенное питание фосфором ускоряло процесс роста корней и зеленых листьев в первый период жизни растений. Однако при большом запасе углеводов и очень малом количестве азотистых веществ в материнских клубнях на подзолистых почвах внесение одного суперфосфата в гнезда является недостаточным для получения хороших урожаев картофеля ⁽⁶⁾.

Внесение в гнезда, в дополнение к суперфосфату, азотистых удобрений в ряде проведенных нами опытов усиливало дыхание материнских клубней, способствовало лучшему использованию запасов крахмала и азотистых веществ материнского клубня.

Под влиянием внесения фосфорных и азотистых удобрений в гнезда значительно усиливалось питание глазков и почек, находящихся на материнском клубне. В результате улучшения питания количество проросших глазков на каждом клубне увеличивалось вдвое. Ряд проведенных нами физиологических и полевых опытов показал, что значительное количество глазков на клубне не прорастает вследствие недостаточного питания и азотистой пищей. Внесением небольших количеств азотистых удобрений в гнезда возможно значительно увеличить прорастание глазков, быстрый рост вегетативных органов в молодом возрасте (см. табл. 2).

Большое количество стеблей в гнезде, более быстрый рост корней и надземной массы в молодом возрасте являются необходимым условием получения высоких урожаев при квадратно-гнездовом способе посадки картофеля ⁽⁶⁾.

В отличие от фосфорных и азотных удобрений, внесение хлористого калия в гнезда на минеральных подзолистых почвах замедляет дыхание материнских клубней, превращение в них крахмала в сахара, использование запасов азотистых веществ клубней молодыми картофельными растениями.

Положительное влияние хлористого калия на рост и развитие картофельного растения появляется с момента образования зеленых листьев.

Влияние питания на превращение веществ в клубнях картофеля и на молодые картофельные растения, осуществляемое путем внесения небольших количеств минеральных удобрений в гнезда картофелесажалками СКГ-4, сказывается на конечном урожае и на качестве клубней картофеля.

В одном из проведенных нами опытов на легкой песчаной почве совхоза «Раменское» Московск. обл. при учетной площади в 72 м² и 2-кратной повторности были получены следующие результаты (см. табл. 3).

Таблица 3

Внесено в гнездо в кг/га действующего начала			Урожай клубней, ц/га	Крахмал		Протеин	
Н	Р	К		%	выход кг/га	%	выход кг/га
—	—	—	170	15,4	2613	2,72	362
—	40	—	180	16,4	2952	2,66	479
33	40	—	215	15,4	3314	2,69	578
33	40	28	181	14,9	2697	2,75	498

Таким образом, и прямые полевые опыты показывают, что на минеральных подзолистых почвах при посадке картофеля СКГ-4 необходимо внесение азотных и фосфорных удобрений в гнезда.

Хлористый калий на подзолистых минеральных почвах лучше вносить не в гнезда, а до посадки под вспашку почвы, под позднеспелые же сорта картофеля и во время вегетации — в подкормке ⁽⁶⁾.

Всесоюзный институт удобрений,
агротехники и агропочвоведения

Поступило
19 IX 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. В. Мосолов, В. А. Александровская, Земледелие, № 1 (1954).
² Л. А. Зуев, П. Ф. Голубева, ДАН, 96, № 2 (1954). ³ Д. А. Сабинин, Минеральное питание растений, Изд. АН СССР, 1940. ⁴ С. М. Прокошев, Биохимия картофеля, Изд. АН СССР, 1947. ⁵ Д. Н. Прянишников, Картофель, 1922.
⁶ А. Ф. Калинин, Г. В. Удовенко, Журнал технико-экономической информации, № 5 (1954).

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

М. Н. СОКОЛОВА, член-корреспондент АН СССР М. А. КАПЕЛЮШНИКОВ
и С. Л. ЗАКС

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ПУТЕМ РАСТВОРЕНИЯ В СЖАТЫХ ГАЗАХ

Выяснение условий выделения углеводородов из общей массы превращенного органического вещества имеет большое значение для понимания процесса происхождения нефти и формирования нефтяных залежей.

В Институте нефти уже в течение ряда лет ведутся работы по изучению газовых равновесий углеводородных смесей при давлениях до 500 атм и

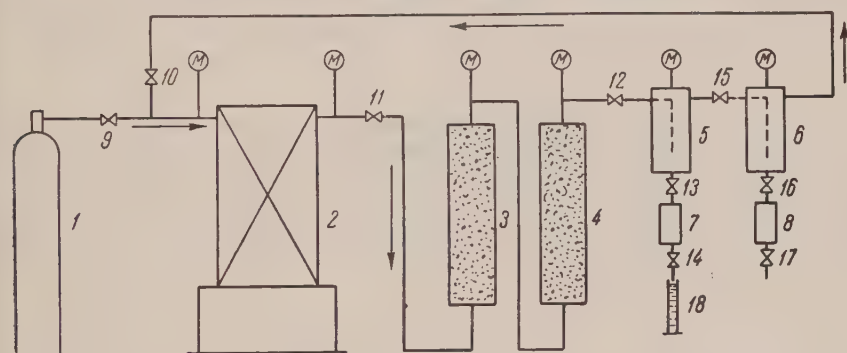


Рис. 1. Схема установки для извлечения битумов из глинистых пород. 1 — баллон со сжатым CO_2 ; 2 — дожимающий компрессор; 3 и 4 — сосуды с исследуемой породой; 5 и 6 — сепараторы; 7 и 8 — приемники; 9 — 17 — вентили; 18 — градуированный цилиндр; М — манометры

температурах до 100° и извлечения нефти из нефтесодержащих пород путем ее растворения в сжатых газах (¹, ²). Проведенные исследования позволили авторам предложить схемы миграции и аккумуляции рассеянной нефти в осадочных породах и образования нефтяных залежей (³, ⁴).

Эти работы привели нас к мысли использовать применяемую методику для выяснения возможности выделения наиболее подвижной части превращенного органического вещества глинистых пород — углеводородов, способных к дальнейшей миграции. Исследования были проведены на укрупненной лабораторной установке, схема которой показана на рис. 1. Ее действие основано на принципе обратного испарения и конденсации, а именно на том, что битумы при контакте со сжатым газом растворяются в нем, а при последующем снижении давления выпадают обратно.

Сущность работы на аналогичной установке была ранее опубликована одним из нас (²). Газовой фазой служил углекислый газ, во избежание сжижения которого ($T_{\text{кр}} = 31^\circ$) во всех сосудах поддерживалась температура порядка 40° . Газ проходил через исследуемую породу при давлении 300—350 атм со скоростью 1 мм/сек. Отметим, что смазка цилиндров производи-

лась не минеральным маслом во избежание выпадения конденсата е в сепараторе.

Материалом для опытов послужили глинистые породы иллеморовско свиты живетского яруса среднего девона, отобранные у сел. Новоселор в Минусинской котловине. Для первого опыта была взята более плотна порода (обр. 1), для второго — более выветрелая, рассланцованная порода (обр. 2). Крупность помола: 0,2—0,3 мм (оп. 1) и 0,4—0,5 мм (оп. 2). Средние пробы из подготовленных образцов экстрагировались спирто-бензолом для выделения битумов и их характеристики.

Таблица 1

Характеристика спирто-бензольного экстракта из пород, взятых для опытов

№ образцов	Внешний вид битума	Т. пл. в °С	n_D^{50}	Элементарный состав в %					С/Н	Компонентный состав в %					
				С	Н	S	N	О (по разности)		маслянист. компоненты	смолы бензольн.	смолы спирто-бензольн.	асфальтены	нерастворимые в C_6H_6	сумма смол
1	Коричневый парафинистый	39,5—41,0	1,4728	80,42	12,36	7,22 0,25 0,36 6,61			6,5	36,99	31,27	13,46	17,42	0,86	44,4
2	То же	44,5—47,0	1,4702	78,72	12,03	9,25			6,5	36,31	14,16	25,26	22,44	1,83	39,1

Как видно из табл. 1, спирто-бензольные экстракты обладают высокой концентрацией маслянистых компонентов (36—37%), что составляет 0,11% в пересчете на исходную породу. Маслянистые компоненты бледножелтого цвета, застывают при комнатной температуре. Данные их предварительные характеристики указывают на значительное содержание в них углеводов родов парафинового ряда.

Таблица 2

Извлечение углеводов из глинистых пород растворением в сжатых газах

№ опытов	Порода	Содержание в породе в %			Количество породы в г	Давление в атм.	Т-ра опыта в °С	Продолжит. опыта в час.	Получено при опыте, в г				Получено в % на породу		% битума, выделен.
		С орг.	битум, экстрагиров. спирто-бензолом	маслянист. компоненты					вода-конденсат	битум-конденсат	битум-смыв	всего битума	всего битума	битума-конденсата	
1	Глина сильно карбонизированная, обр. 1	9,09	0,28	0,11	6500	300—350	40	3	33	6,72	4,53	11,25	0,17	0,10	60,0
2	То же, более выветрелая обр. 2	8,20	0,30	0,11	6400	300	40	4	28	5,70	9,21	14,91	0,23	0,09	76,0

* В % от спирто-бензольного экстракта.

Большая выветрелость породы, взятой для второго опыта, отражается в элементарном и компонентном составе битумов. При почти одинаковом содержании маслянистых компонентов, в более выветрелом образце наблюдается более высокая концентрация асфальтенов и значительное преобла

ание спиртобензольных смол над бензольными. Сами маслянистые компоненты содержат больше кислых составных частей.

Условия опытов выделения углеводородов путем растворения в сжатых газах приведены в табл. 2. Полученные при опытах конденсаты тщательно отделялись от воды, растворялись в петролейном эфире, и полученные после отгонки растворителя битумы-конденсаты высушивались в вакууме. Битумы-конденсаты обоих опытов имеют желтый цвет и парафинистую консистенцию. По своему внешнему виду и консистенции они сходны с маслянистыми компонентами, полученными при разделении на групповые компоненты битумов, экстрагированных из тех же пород спирто-бензолом. Сопоставление данных предварительной характеристики битумов-конденсатов и маслянистых компонентов спирто-бензольного экстракта указывает на их полное сходство между собой как по некоторым физико-химическим константам, так и по элементарному составу. Результаты анализа позволяют заключить, что они состоят в основном из углеводородов парафинового ряда. Интересно отметить, что битум-конденсат, полученный из более выветрелой породы, более окислен, так же как и маслянистые компоненты, выделенные из соответствующего спирто-бензольного экстракта (табл. 3).

Таблица 3

Предварительная характеристика битума-конденсата, битума-смыва и маслянистых компонентов из спирто-бензольного экстракта

№ опыта			Т. пл. в °С	n_D^{50}	Кислотность, мг КОН	Коэфф. омыления	Элементарный состав в %			
							С	Н	О + S + N	С/Н
1	Битум породы до опыта	Маслянист. компоненты	26—32	1,4496	5,01	—	84,57	13,65	1,85	6,19
	Продукты, полученные при опыте	Битум-конденсат	29—38	1,4544	7,30	13,28	84,59	13,94	1,47	6,04
		Битум-смыв	35—47	1,4636	17,06	36,02	80,92	13,29	5,79	6,08
2	Битум породы до опыта	Маслянист. компоненты	25—27	1,4491	7,58	—	83,75	13,83	2,42	6,05
	Продукты, полученные при опыте	Битум-конденсат	29—31	1,4417	5,99	17,68	83,91	13,95	2,14	6,01
		Битум-смыв	36—43	1,4596	11,28	59,06	78,61	12,58	8,81	6,25

Полученные результаты убедительно показывают, что в условиях проведения опытов были извлечены прежде всего углеводородные компоненты битумов глинистых пород, что объясняется их лучшей растворимостью в сжатых газах. Как видно из таблицы, происходит почти 100% растворение и полный перенос углеводородной части битума глинистой породы.

Произведя смыв сепараторов после опытов, мы получили еще некоторое количество битума, названного нами «битумом-смывом». Эти битумы резко отличаются от битумов-конденсатов более высокими числами кислотности и омыления и меньшими величинами содержания С и Н. Здесь также наблюдается отмеченная выше закономерность состава, т. е. битум-смыв опыта 2 более окислорожен, чем битум-смыв опыта 1, что отвечает и характеру самого битума образца 2. Суммарное количество битума-конденсата и битума-смыва составляет 60,7—76,6%, от количества спирто-бензольного экстракта.

В породе, подвергшейся обработке сжатым газом, в обоих случаях произошло увеличение процентного содержания спирто-бензольного экстракта, что указывает на повышение растворимости в спирто-бензоле органического вещества породы под воздействием давления.

Таким образом, экспериментально показана возможность выделения углеводородов из общей массы органического вещества глинистой породы путем растворения их в сжатых газах.

Можно допустить, что и в недрах земли могут встретиться подходящие условия в смысле давления и количества газа, при которых система углеводороды — вода — газ будет находиться в газообразном состоянии. В этой системе могут в последующем, при снижении давления, выделяться углеводороды, способные к дальнейшей миграции.

Институт нефти
Академии наук СССР

Поступило
16 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. А. Капелюшников, Т. П. Жузе, С. Л. Закс, Изв. АН СССР, ОТН, **11**, 1700 (1952). ² С. Л. Закс, Изв. АН СССР, ОТН, **9**, 3 (1955). ³ М. А. Капелюшников, ДАН, **99**, № 6, 1077 (1954). ⁴ С. Л. Закс, ДАН, **105**, № 2 (1955).

Д. Е. АЙЗЕНВЕРГ и Н. Е. БРАЖНИКОВА

К ВОПРОСУ О СОПОСТАВЛЕНИИ НИЖНЕВИЗЕЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ДОНЕЦКОГО БАССЕЙНА И НЕКОТОРЫХ ДРУГИХ РАЙОНОВ СССР

[Представлено академиком Н. М. Страховым 12 XII 1955]

Согласно Унифицированной схеме стратиграфии карбона (¹³), донецкие зоны C_1^a — C_1^d сопоставляются с угленосным (сталиногорским) горизонтом, а зона C_1^e с вышележащим тульским горизонтом. Такое же примерно сопоставление было принято ранее А. П. Ротом (¹⁵).

Данные, полученные авторами настоящего сообщения в результате изучения нижнего карбона Б. Донбасса, так же как и ряд новых сведений о фациальном облике и фаунистической характеристике нижневизейских разрезов Подмосковья и Урала (^{2,7,9,11,16} и др.) приводят к несколько иным представлениям о соотношении нижневизейских образований Донбасса и других районов Русской платформы и Урала.

Толщу нижневизейских осадков, обнажающихся на юго-западной окраине Донбасса (зоны C_1^a — C_1^e), подстилают темные битуминозные известняки верхов зоны C_1^d с фауной фораминифер, кораллов и брахиопод. Необходимо отметить присутствие здесь фораминифер*: турнейелл, карбонелл, *Endothyra staffelliformis* N. Tschern., брунсии и разнообразных эндотир (*End. inflata forma maxima* Lip., *End. ex gr. spinosa* N. Tschern., *End. ukrainica* Dain msc., *End. prisca* Raus. et Reitl., *End. globulus* var. *parva* N. Tschern.), а также ряда других форм; кораллов—*Syringopora ramulosa* Goldf., *S. reticulata* Goldf., *Aulopora* sp., *Campophyllum* sp., *Zaphrentis* sp., и брахиопод—*Schuchertella bituminosa* Liss., *Chonetes* aff. *magna* Rot., *Pr. (Pustula) pustulosiformis* Rot., *Pr. (Linoproductus) globosus* Garw., *Athyris asinuata* Liss.

Аналоги этих слоев на территории Русской платформы, повидимому, уничтожены во время предугленосного континентального перерыва. На Урале им может отвечать чикманский горизонт Н. П. Малаховой (⁹).

В основании нижнего визе залегают серые плитчатые мелкозернистые известняки (зона C_1^a), также с богатой кораллово-брахиоподовой и фораминиферной фауной. Наиболее характерны в составе фораминифер: паратураммины, брунсии, немногочисленные турнейеллы и карбонеллы, разнообразные квазиэндотир (*Q. solida* Vdov., *Q. magna* Vdov. и др.) и эндотир (*End. spinosa* N. Tschern., *End. chomatica* Dain msc., *End. prisca* Raus. et Reitl., *End. similis* Raus. et Reitl., *End. crassa* var. *compressa* Raus. et Reitl. и др.), впервые появляющиеся литутубеллы (*L. tenuissima* Vdov.), эоштаффеллы (*Eost. ex gr. mediocris* Viss.) и эопараштаффеллы (примитивные представители рода *Parastaffella*, описанные М. В. Вдовенко), а также ряд других форм; среди кораллов — *Syringopora ramulosa* Goldf., *S. gracilis* Keys., *Campophyllum caninoides* Sibly, представители *Lithostrotion***.

* Фораминиферы, приведенные в данной работе, определены Н. Е. Бражниковой, кораллы — Н. П. Василюк (³), брахиоподы — Д. Е. Айзенвергом. Использованы также данные А. П. Роты (^{14,15}) и М. В. Вдовенко (^{4,5}).

** По данным К. И. Лисицына и А. П. Роты.

Донбасс		Подмосков- ный бассейн	Ю. Урал (по Н. Е. Черныше- вой, 1948 г.)	Зап. склон Урала (по Н. П. Малахо- вой, 1951, 1954 гг.)	В. Урал (по А. А. Пронину 1952 г.)	Унифицированная схема (предлагаемый вариант)			
Визейский ярус (C_1^V)	C_1^{Ve} (45 м)	Тульская толща	II горизонт	4-я пачка	Угленосная свита	Сред- ний го- ризонт	Тульский горизонт	Сталингогорский горизонт	Яснополянский подъярус C_2^{1-1}
	C_1^{Vd} (75 м)	Угленосная свита	I горизонт	3-я пачка		Нижний горизонт	Угленосная толща		
	C_1^{Vc} (30 м)	Перерыв		1-я и 2-я пачки	Перерыв	Перерыв	Ольгинская толща		
	C_1^{Vb} (10 м)		Переходные слои	Перерыв					
	C_1^{Va} (5 м)		Верхняя часть турнейского яруса	Луневский горизонт	Верхняя часть турнейского яруса		Луневская толща		
Турнейский (C_1^t)	C_1^{td} (25 м)	Размыв		Чикманский горизонт			Чикманский горизонт	Чернышинский C_1^{1-2}	Турнейский C_1^1
	C_1^{tc} (30 м)	Чернышев- ская толща		Черепетский горизонт			Черепетский горизонт		

miussiphyllum calmiussi Vass. msc. и др.; в составе брахиопод — Chonetes magna Rot., Pr. (Plicatifera) sublaevis Kon., Pr. (Plicatifera) sublaevis var. donica Rot.

Выше по разрезу, в толще серых среднезернистых известняков зон C_1^V и C_1^c фауна также весьма многочисленна. Среди фораминифер характерны паратураммины, брунсии, литуотубеллы (L. tenuissima Vdov., L. glareosa Vdov.), Endothyra staffelliformis N. Tschern., End. chomatica Dain msc., End. prisca Raus. et Reitl., End. crassa var. compressa Raus. et Reitl., End. omphalota var. minima Raus. et Reitl., Tetrataxis eominima Raus. (только в зоне C_1^c), Eostaffella ex gr. mediocris Viss., различные эопараштаффеллы и ряд других форм, преимущественно различных эндотир; в составе коралловой фауны — Syringopora reticulata Goldf., S. gracilis Keys и другие синрингопоры, Verneulia konincki var. calmisia (Liss.), Caninia cf. aberrans Gorsky, Lithostrotion affine donbassica Vass. msc., L. columnariformis Vass. msc. и др., из брахиопод — Chonetes magna Rot., Ch. lisitzini Rot. msc., Spirifer grabovi Rot. (только в зоне C_1^b), Athyris asinuata Liss.

Далее вверх по разрезу, в известняках с частыми черными кремнями зоны C_1^{Vd} , также установлены обильные фораминиферы, кораллы и брахиоподы, в составе которых следует отметить: паратураммин, брунсий, For. schia subangulata (Moell.), Lituotubella glomospiroides Raus., L. glareosa

lov., *Endothyra staffelliformis* N. Tschern., *End. chomatica* Dain msc., *End. crassa* var. *compressa* Raus. et Reitl., *End. ischimica* Raus., *End. omphalota* var. *minima* Raus. et Reitl., *End. similis* Raus. et Reitl., *Tetrataxis* sp., *Permodiscus syzranicus* N. Tschern., P. cf. *rotundus* N. Tschern., *Eostaffella mediocris* Viss., эопараштаффеллы и некоторые другие формы (главным образом эндотир); *Syringopora geniculata* Phill., *S. gracilis* Keys., *Foramininia subibicina* M'Coy, *Lithostrotion affine donbassica* Vass. msc., *Lonsdaleia longiseptata* Liss., *Dibunophyllum lisitzini* Vass. msc., *Chonetes pallionaceus* Phill., *Ch. magna* Rot., *Ch. lisitzini* Rot. msc.; Pr. (*Linoproductus*) *probus* Rot., Pr. (*Overtonia*) *fimbriatus* Sow., Pr. (*Gigantoproductus*) *donbassicus* Leb. (в верхах зоны).

В толще кремнистых пород зоны $C_1^v e$, завершающей нижневизейские отложения Донбасса, определена богатая, но своеобразная фауна. Наиболее характерны здесь брахиоподы: *Chonetes dalmanianus* Kon., *Ch. sp.*, Pr. (*Gigantoproductus*) *maximus* M'Coy, Pr. (*Gigantoproductus*) cf. *mirus* Fred., Pr. (*Antiquatonia*) *hindi* M.-W., Pr. (*Chonetipustula*) *carringtonianus* Dav., *Amarotoechia* sp. A, *Spirifer praebisulcatus* Rot. msc., *Sp. attenuatus* Sow., Pr. cf. *ovalis* Phill. Кораллы встречаются редко. Сведениями о составе фораминифер этой зоны мы до последнего времени почти не располагали. В настоящее время представляется возможным привести ряд видов из отложений этой зоны, вскрытых бурением у г. Комсомольска. Из числа этих фораминифер следует назвать: паратураммин, *Ammodiscus* aff. *priscus* Raus., бруний, форший, *Lituotubella glomospiroides* Raus., *Endothyra* ex gr. *crassa* Brady, *End. omphalota* var. *minima* Raus. et Reitl., *End. ex gr. globulus* (Eichw.), *End. similis* Raus. et Reitl., *Spiroplectammina* sp., *Tetrataxis* sp., *Archaediscus* ex gr. *krestovnikovi* Raus., *Arch. spirillinoides* Raus., *Permodiscus* sp., *Eostaffella* ex gr. *mediocris* Viss. и эопараштаффелл.

На площади Днепровско-Донецкой впадины, несмотря на отличия в составе пород, выделяются те же компоненты разреза, со сходной фауной. К западу от собственно Донбасса, на северном склоне Украинского кристаллического массива, осадки зоны C_1^d , отвечающие регрессии турнейского моря, отсутствуют (¹). Аналоги зон $C_1^v b-c$, с обильными бруниями, разнообразными эндотирами и первыми литуотубеллами, эоштаффеллами и параштаффеллами (без архедискусов), ложатся на известняки с *Endothyra glomiformis* Lip. и *Spiroplectammina tschernyshinensis* Lip., являющиеся аналогами зоны C_1^c Донбасса. Аналоги зон C_1^d-e в этих краевых, прибрежных частях бассейна содержат наряду с фауной фораминифер того же состава, что и в Донбассе, ряд отличных форм — единичные *Monotaxis exilis* Viss., вальвулиеллы и форшиеллы. В этих слоях более обильны архедискусы и тетратаксисы, более редки квазиэндотир, более разнообразны аммодискусы.

Анализ всех приведенных выше данных дает основание для следующих заключений. Границу между турне и визе следует проводить в подошве C_1^a , как это и было предложено А. П. Ротаем (^{14, 15}). Доказательством этого является существенное обновление фауны (появление Pr. *sublaevis* Kon., широко распространенного в нижнем визе Зап. Европы, мелкочаеистых сиринопор, *Lithostrotion*, литуотубелл, эоштаффелл, эопараштаффелл и новых видов эндотир и квазиэндотир). Доживание здесь многих видов турнейского облика, по нашему мнению, не противоречит такому выводу.

Аналогом зоны C_1^a Донбасса является луньевский горизонт Н. П. Малаховой (⁹), отвечающий, повидимому, киндерлинским, косьвинским, вишерским и другим слоям Урала, по Д. В. Наливкину (¹⁰). В Подмосковном бассейне и, вероятно, в смежных областях (Поволжье и др.) эта толща не отлагалась.

Ко времени образования осадков зоны C_1^a и ее аналогов, повидимому, приурочено почти повсеместное распространение значительных поднятий,

наиболее отчетливо проявившихся в Подмоскowie и смежных областях отчасти на Урале. С этими крупными геологическими событиями связано появление новых (визейских) форм и в тех бассейнах (Донбасс, Южный Урал), в которых морской режим не прерывался, но фациальная обстановка несомненно, претерпевала существенные изменения.

К эпохе ранневизейских поднятий относится и время образования зон C_1^b , а отчасти и зоны C_1^c , причем времени наибольшего распространения континентальных условий, повидимому, соответствует зона C_1^b . Этот момент наибольшей разобщенности морских бассейнов находит выражение в ряде фациальных особенностей соответствующих толщ осадков, так же как и в составе приуроченной к ним в большой степени эндемичной фауны. Совокупность имеющихся данных приводит к сопоставлению зон C_1^b и C_1^c Донбасса с переходными слоями и I горизонтом Южного Урала по Н. Е. Чернышевой⁽¹⁷⁾ или с 1-й и 2-й пачками отложений, выделенными Н. П. Малаховой на западном склоне Урала⁽⁸⁾. В Подмоскowie, отчасти на западном склоне Урала⁽¹⁸⁾, так же как и на Восточном Урале, в период образования рассматриваемых зон имел место перерыв в осадконакоплении или (время зоны C_1^c) отлагались терригенные, лишенные морской фауны часто угленосные толщи.

Зоны C_1^d и C_1^e , отличающиеся в значительной степени обновленным составом фауны, находят аналогов в верхах угленосного и тульского горизонтов Подмоскowie^(2, 12), в верхней части угленосной толщи Кизеловского района⁽⁶⁾, в верхней части I и во II горизонте Южного Урала по Н. Е. Чернышевой⁽¹⁷⁾, в 3-й и 4-й пачках разреза, изученного Н. П. Малаховой на западном склоне Урала⁽⁸⁾, в нижнем и среднем горизонтах восточноуральского разреза, по А. А. Пронину⁽¹¹⁾.

Развитие трансгрессии, отвечающей верхней части сталингорского тульского горизонтам, способствовало свободному сообщению бассейнов, миграции фауны и возникновению значительно более сходных между собой фаунистических комплексов верхов нижнего визе в Донецком бассейне и в Подмоскowie, на Урале и других районах.

Все сказанное заставляет предполагать, что Унифицированная схема стратиграфии карбона⁽¹³⁾, базирующаяся на не совсем полном разрезе Подмоскowie бассейна, требует некоторого уточнения в части, касающейся нижневизейских отложений. В частности, представляется целесообразным дальнейшее подразделение сталингорского горизонта с выделением толщ, аналогичной зонам C_1^b и C_1^c Донбасса, которую можно было бы называть «ольгинской»*. Представления авторов иллюстрирует помещаемая здесь таблица сопоставления разрезов.

Поступило
10 IX 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. Е. Айзенберг, Доп. АН УССР, № 6 (1951). ² М. А. Болховитинова, Тр. МГРИ, 19 (1938). ³ Н. П. Васильюк, Автореферат диссертации, ИГАН УССР, 1952. ⁴ М. В. Вдовенко, Геол. журн. АН УССР, 13, I (1953). ⁵ М. В. Вдовенко, Автореферат диссертации, Киевск. гос. ун-в., 1953. ⁶ И. Горский, И. Л. Тимофеева, Тр. ЦНИГРИ, 3 (1939). ⁷ Л. П. Гроздилов, Н. С. Лебедева, Микрофауна СССР, сборн. 7 (1954). ⁸ Н. П. Малахова, ДАН, 81, № 6 (1951). ⁹ Н. П. Малахова, ДАН, 97, № 6 (1954). ¹⁰ Д. В. Наликин, Материалы ВСЕГЕИ, палеонтол. и стратигр., 5 (1948). ¹¹ А. А. Пронин, ДАН, 85, № 4 (1952). ¹² Д. М. Раузер-Черноусова, Тр. ИГН, 62, геол. серия (№ 19) (1948). ¹³ Решения Всесоюз. совещания по выработке унифицированной схемы стратиграфии каменноугольных отложений Русской платформы и западного склона Урала, 1951. ¹⁴ А. П. Ротай, Тр. ГРУ, 73 (1931). ¹⁵ А. П. Ротай, Тр. XVII сессии Международн. геол. конгресса, 1 (1939). ¹⁶ Р. Б. Самойлова, Р. Ф. Смирнов, Е. Ф. Фомина, ДАН, 96, № 2 (1954). ¹⁷ Н. Е. Чернышева, Тр. ИГН, 62, геол. серия (№ 19) (1948). ¹⁸ О. Л. Эйноор, ДАН, 22, № 9 (1939).

* Название связано с Ольгинским районом Сталинск. обл., УССР.

Н. С. ВОРОНЕЦ

О ВОЗРАСТЕ «АУЦЕЛЛОВОГО ГОРИЗОНТА» СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛЕНСКОГО БАССЕЙНА

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 8 XII 1955)

На территории северной части Ленского бассейна морские отложения верхней юры и нижнего мела, охарактеризованные макрофауной, занимают сравнительно небольшие пространства. Площади их развития приурочены к нижним частям бассейнов рек Лены и Оленека и протягиваются параллельно отложениям средней и нижней юры. Литологически юра и мел представлены довольно однообразными породами: аргиллитами, алевролитами и песчаниками.

Большое значение для стратиграфии этих отложений имели систематические сборы фауны, произведенные Е. С. Ершовой (Лаптинской) в 1952 г. в Булунском районе и охватившие отложения только от верхнего бата до валанжина, так как в этом районе более древние слои юры не были встречены.

Наибольший интерес здесь представляет большой непрерывный разрез мыса Чуча (снизу вверх):

I. Верхний бат. Слой 1а. Пачка частого переслаивания серых мелкозернистых, плотных песчаников с темносерыми крупнокусковатыми алевролитами, охарактеризованная *Inoceramus retrorsus* Keys., *In. tongusensis* Lah., *In. sp. nov.* Е. и другими новыми видами иноцерамов... 9,6 м

Слой 1б. Серые мелкозернистые, плотные, не слоистые песчаники с фауной плохой сохранности. *Inoceramus ex gr. retrorsus* Keys. 3 м

Слой 1в. Алевролиты темносерые крупнокусковатые. Фауна не обнаружена 11 м

II. Келловей (нижний келловей). Слой 1г. Темносерые мелкозернистые, плотные, неслоистые песчаники с фауной *Cadoceras giganticum sp. nov.*, *Cad. recurvostatum sp. nov.*, *Cylindroteuthis cf. subextensa* (Nik.), *Pleuromya decurtata* Phill., *Pl. aff. unioides* Roem., *Bureiomya sp.*... 3,8 м

III. Нижний оксфорд. Слой 1д. Темносерые среднекусковатые алевролиты с *Cardioceras cf. cordatum* (Sow.), *Camptonectes cf. rigidus* (Sow.), *Greslya sp.*... 8 м

IV. Верхний оксфорд — нижний волжский ярус. Слой 1е. Темносерые кусковатые алевролиты с включениями шаровых конкреций и с фауной *Aucella lindstroemi* Sok.

Слой 1ж. Темные кусковатые алевролиты без конкреций и без фауны.

Слой 1з. Темные слоистые алевролиты с прослоями аргиллита. Здесь встречаются такие виды, как *Aucella pallasi* Keys., *A. orbicularis* Huatt, *Pecten sp. nov.* (*P. aff. obscurus* Sow.), *Cylindroteuthis sp. indet.* ... 9 м

V. Верхний волжский ярус? Слой 1. Светлосерые мелкозернистые, плотные песчаники. Фауна не обнаружена 75 м

VI. Нижний валанжин. Слои от 2а до 2ж. Внизу песчаники серые, темносерые мелкозернистые, полосчатые, слоистые, местами (слой 2в) с включениями шаровых конкреций диаметром до 5—10 см. Здесь встречаются: *Aucella fischeriana* Orb., *A. cf. fischeriana* Orb., *A. cf. volgensis* Lah.

Вверху залегают песчаники с прослоями алевролитистых песчаников темносерых и комковатых. Фауна не обнаружена 44,7 м

Слой 23. Песчаники серые мелкозернистые, плотные, неслоистые. Встречены: *Aucella* cf. *lahuseni* Pavl., *A.* cf. *fischeriana* Orb., *A.* sp. indet. 95 м

VII. Слой 2и — 2о. Переслаивание темных алевролитов со светлыми иногда темными песчаниками. Повидимому, немая пачка 36,2 м

VIII. Средний — низы верхнего валанжина. Слои 2п — 2р. Пачка переслаивания алевролитов темносерых крупнозернистых с песчаниками серыми и мелкозернистыми; кроме того, слой 2п содержит шаровые стяжения. Здесь встречены: *Phylloceras* sp. nov. *A.*, *Aucella crassicolis* Keys., *A. crassa* Pavl., *A.* sp. (*A.* cf. *wollossowitschi* Sok.), *A.* sp. indet., *Pecten* sp. indet. 19,2 м

IX. Пачка немых песчаников 19,5 м

X. Кигиляхская свита с неопределенными растительными остатками

Рассматривая разрез, можно видеть, что фауна ауцелл встречается здесь в отложениях от верхнего оксфорда до низов верхнего валанжина, общей мощностью 228 м. Эти отложения разделены между собой пачкой немых песчаников, мощностью 75 м, на два, неравных по мощности, слоя; нижний — с ауцеллами юрского возраста, мощностью 28 м, и верхний — с ауцеллами нижнего мела, мощностью 135 м. Такое широкое вертикальное распространение отложений с разновозрастными ауцеллами наблюдается не только в северной части бассейна р. Лены, но и в районе Оленекской протоки и в бассейну р. Оленек. Если же проследить породы верхней юры — нижнего мела далее на запад, та же картина наблюдается вплоть до бассейна р. Анабар и далее на Таймыре с той только разницей, что в некоторых районах выпадают те или иные слои, в большинстве случаев отсутствуют ауцеллы верхнего волжского яруса, реже — какая-либо зона валанжина.

Принимая во внимание все вышесказанное, нельзя признать обоснованным желание некоторых исследователей ^{(6)*} выделить слои с фауной ауцелл для Приверхоанского краевого прогиба (т. е. Ленского бассейна) в «ауцелловый горизонт» и ограничить его возраст верхним оксфордом — нижним волжским ярусом. Из вышеприведенного разреза Булунского района обзора фауны ауцелл не только всей Ленской впадины видно, что возраст отложений, их вмещающих, охватывает гораздо больший промежуток времени, а именно: конец юрской системы и начало меловой. Поэтому, с одной стороны, неуместен сам термин «ауцелловый горизонт» в применении к одной части слоев, а с другой, — вряд ли правильно выделение единый горизонт отложений, относящихся к двум разным, хотя и смежным системам.

Научно-исследовательский институт
геологии Арктики

Поступило
1 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. И. Бодылевский, Зап. Лен. горн. инст., 17—18 (1948). ² В. И. Бодылевский, Пробл. Арктики, № 10—11 (1939). ³ В. И. Бодылевский, ДАН Сер. А, № 14—15, 285 (1928). ⁴ И. Лагузен, Тр. Геол. ком., 8, № 1 (1888). ⁵ Д. Н. Соколов, Зап. Имп. АН, сер. VIII, 21, № 3 (1908). ⁶ З. В. Кошечкина, И. И. Тучков, ДАН, 102, № 4 (1955).

* Кстати, в связи с указанием авторов работы ⁽⁶⁾ о произведенном ими пересмотре палеонтологического материала В. А. Вахрамеева необходимо указать, что определены коллекции В. А. Вахрамеева мною не производилось.

М. Е. ЗУБКОВИЧ

К ВОПРОСУ О БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКОМ РАСЧЛЕНЕНИИ
ПАЛЕОЦЕНОВЫХ И НИЖНЕОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
СТАЛИНГРАДСКОГО ПОВОЛЖЬЯ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 11 XI 1955)

В связи с проводившимися в последние годы геологическими изысканиями по Волге и Дону в пределах Сталинградской обл. накопился новый материал, послуживший уточнению палеонтологической характеристики отдельных подразделений палеогена Поволжья.

Собранная при этом на Волге в районе Сталинграда, Волго-Донском водорозделе и правобережье Дона фауна моллюсков из палеоценовых* и эоценовых отложений в настоящее время нами обработана.

Схема стратиграфического расчленения палеогеновых отложений Поволжья была предложена в ряде трудов (¹, ², ⁴⁻⁷, ⁹, ¹⁰), однако до последнего времени она продолжает подвергаться изменениям. Одной из причин этого является бедное содержание фауны в палеогеновых отложениях, плохая ее сохранность, отсутствие новейших работ, где бы после трудов А. В. Нечаева (⁸) и А. Д. Архангельского (¹) монографически описывалась палеогеновая фауна моллюсков Поволжья. В результате этого вплоть до последнего времени появляются мало обоснованные предложения о включении в схему новых стратиграфических единиц (¹³).

В палеоценовых отложениях, развитых только на правобережье Волги и Волго-Донском водорозделе и включающих сызранскую и камышинскую свиты, макрофауна встречается почти исключительно в первой. Отсюда определено 89 видов и разновидностей, из которых 69 относится к пеллециподам. Меньшее число описанных видов гастропод объясняется более плохой сохранностью их представителей. В число описанных видов входит 4 новых: *Nucula volginica*, *Gryphaea electrica*, *Cardium problematicum* (= *C. sp. ind.* Архангельского (¹)), *C. (Cerastoderma?) paleocaenicum*; новая разновидность *Crassatella volgensis* Netsch. var. *curta*; 20 видов, известных в палеоцене иных регионов СССР и Западной Европы, но указываемых для Поволжья впервые: *Nucula tumescens* Edw., *Pinna affinis* Sow. var. *intermedia* Wood, *Ostrea bellovacina* Lamk., *Gryphaea antiqua* Schw., *Amphidonta eversa* (Mellerv.), *Crassatella scutellaria* Desh., *Lucina concava* Defr., *Cyrena veneriformis* Desh., *Cyprina scutellaria* Lamk., *C. cf. lunulata* Desh., *Dosiniopsis bellovacina* (Desh.), *D. fallax* (Desh.), *D. cf. orbicularis* (Desh.), *Pitar ambigua* (Desh.), *P. avia* (Desh.), *P. tranquilla* (Desh.), *P. calvimontana* (Desh.), *Pholadomya cf. koninckii* Nyst, *Ampullina austriaca* Traub, *Olivella parnensis* Cossm.

45 из 89 видов, т. е. почти половина, являются эндемичными волжскими

* Отказ от трехчленного деления палеогена в настоящее время нам кажется преждевременным уже потому, что не решен окончательно вопрос о положении датского яруса.

видами, однако для небольшого числа из них могут быть указаны родственные формы из западно-европейского палеогена, от которых они произошли и которые, как правило, встречаются здесь же. К ним относятся: 1) *Cucul laea dorsorotundata* Netsch.—*C. volgensis* Barb.—*C. decussata* Park.; 2) *Lun cina subconcava* Netsch.—*L. concava* Defr.; 3) *Tellina saratovens* Arch.—*T. pseudodonacialis* Orb.; 4) *Sunetta subseparata* (Arch.)—*S. separata* (Desh.). 5) *Pitar sublunularia* (Arch.)—*P. lunularia* (Desh.). Из родственных видов в Поволжье пока не встречена только *S. separata*.

Характерно, что все перечисленные волжские формы отличаются от родственных одними и теми же признаками: уменьшением удлиненности, увеличением выпуклости створок и приобретением большей округлости очертаний. Эта одинаковая направленность в изменении представителей разных родов говорит о специфических условиях волжского палеоценового бассейна, возникших, видимо, вследствие его некоторого отчленения от открытого моря. Еще для 11 видов в настоящее время с меньшей достоверностью можно указать родственные западно-европейские формы, и, таким образом, почти для одной трети эндемичных волжских форм выявляются их ближайшие западно-европейские аналоги.

При сопоставлении данной фауны с фауной из палеогена отдельных регионов СССР отмечаются единичные общие формы в отложениях Северного Кавказа и Мангышлака. Больше общего у нее с палеоценовыми отложениями Средней Азии и черноморского побережья Абхазии и, наконец, полная и непосредственная связь устанавливается с танетом Крыма, в котором более $\frac{1}{4}$ видов относится к специфическим волжским формам и много общих с Поволжьем и Западной Европой.

При сопоставлении сызранской фауны с западно-европейской выявляется непосредственная и тесная связь ее с танетской фауной Парижского бассейна, тогда как с фауной Бельгийского и Английского бассейнов эта связь носит более общий характер. В противоположность установленному мнению не выявляется общности с палеоценовой фауной Копенгагена.

Реконструкция палеоклиматических условий, проводившаяся уже ранее и повторенная нами для сравнения с условиями нижнеэоценового бассейна при учете не только качественного (термофильность родов), но и количественного фактора (число видов и индивидуумов в разных группах), подтверждает субтропический климат сызранского времени и даже большее его приближение к тропическому. Аналогичные условия в это время существовали в Крыму (по нашему анализу) и в Парижском бассейне (¹²).

Камышинская свита, содержащая только флору, указывающую на ту же (близкую к тропической) климатическую обстановку и более тесно связанная с подстилающими породами, без сомнения относится к палеоценовой эпохе.

Нижнеэоценовые отложения, развитые на правобережье Волги, Дона и Волго-Донском водоразделе, характеризуются трансгрессивным залеганием, и сразу, начиная с самых нижних слоев (в пролейских слоях два нижнеэоценовых вида найдено нами и восемь В. П. и Е. П. Семеновыми (¹¹)), в них встречается совершенно новый комплекс фауны, у которого с палеоценом имеется только 4 общих вида, склонных к широкому вертикальному распространению. Скопления нижнеэоценовой фауны приурочены к верхам царицынских слоев.

Различие палеоценового и нижнеэоценового комплексов сказывается уже в родовом составе. Из встреченных нами 42 родов в палеоценовых отложениях и 22 в нижнеэоценовых общих имеется только девять.

Всего в нижнеэоценовых отложениях определено 35 видов, из которых 29 пеллеципод. Характерной чертой нижнеэоценового комплекса является почти полное отсутствие эндемичных форм.

В данных отложениях встречены следующие виды и разновидности: *Pectunculus volgodonicus* sp. nov., *P. sp.* № 1 (ex gr. *pulvinatus*), *P. sp.* № 2 (ex gr. *humilis* Desh.), *Pteria media* Sow., *Chlamys pseudoprestwichii* sp. nov., *Chl. armaschewskii* [Kryshan.] sp. nov. (= *Chl. prestwichii* var. *armaschewskii* Melnik — левые створки и *Chl. desnasiana* Murom. — правые створки), *Ostrea bellovacina* Lamk., *Gryphaea rarilamella* (Mellv.), *Gr. frauscheri* (Traub), *Modiolus elegans* Sow., *M. elegans* var. *elegantior* Wood, *Astarte rugata* Sow. (s. str. и var. *umbonata* Wood, *filigera* Edw., *elongata* var. nov.), *Woodia* sp. ind., *Nemocardium edwardsi* (Desh.) var. *infraeoaenicum* var. nov., *N. sp.* № 1 (ex gr. *wateleti* Desh.), *Tellina* sp. № 1 (ex gr. *striatissima* Desh.), *Cultellus* [?] *hollowaysii* (Sow.), *Cyprina morrisi* Sow., *Dosiropsis pseudo-orbicularis* Trem., *D. tokodensis* [Oppen.]; (*Pitar sulcata*) (Desh.), *P. suberycinoides* (Desh.), *Cordiopsis incrassata* (Sow.), *Panope intermedia* (Sow.), *P. vaudini* (Desh.), *P. elongata* (Leim.). Гастроподы: *Acmaea* sp. № 1 (ex gr. *dutemplei* Desh.), *Calyptraea* cf. *aperta* (Sol.), *Aporrhais* cf. *sowerbyi* Mant. var. *korobkovi* Murom. (in litt.), *Cantharus costellifera* (Desh.), *Ficus intermedius* (Mell.), *Tornatellaea simulata* Sol. и несколько определенных через sp. ind.

При сопоставлении данной фауны с фауной из различных регионов СССР наблюдается снова незначительное число общих форм с Северным Кавказом, Мангышлаком и Средней Азией. Что особенно важно — это полное отсутствие общности с нижнеэоценовой фауной Крыма. Зато много общего с фауной каневской свиты платформенной части Украины, вплоть до общих руководящих видов.

При сопоставлении с палеогеновой фауной Западной Европы вырисовывается меньшая общность с Парижским и Бельгийским бассейнами и большая с Английским.

Все 17 видов, общие с последним, встречаются в нижнеэоценовых отложениях Англии, из них 12 приурочены только к ним и за исключением двух развиты в свите лондонской глины.

Палеоклиматологический анализ показывает резкое изменение климата в сторону умеренного. Тропические формы почти отсутствуют, сокращается группа, общая с умеренными и тропическими провинциями, зато возрастает группа, характерная для умеренных и холодных морей.

Нарушение связи со средиземноморским бассейном через Крым и вторжение холодных течений из Английского бассейна, видимо, через Польшу и Украину сделали климат более умеренным, чем в палеоэоцене, что также сказалось на испаряемости и на влажности воздуха. С этим хорошо согласуются находки флоры в каневской свите Украины, имеющей по А.Н. Криштофовичу (3) иной облик чем палеоэоценовая флора Поволжья, приближающий ее к мелколистной и узколистной ксерофитной растительности.

В ы в о д ы. Несмотря на специфичность сызранского фаунистического комплекса, он сопоставляется с фаунистическим комплексом Парижского бассейна настолько, что можно определенно говорить об отнесении сызранской свиты к танетскому ярусу.

Сопоставление камышинской свиты, как и всех остальных следующих выше свит, с ярусным делением Международной шкалы, уже в силу противоречивости последнего (14), затруднительно. Возможно, что камышинская свита представляет небольшой самостоятельный этап в истории палеогена, не получивший четкого отражения в Западной Европе.

Граница палеоэоценовой и эоценовой эпох знаменуется значительным изменением взаимосвязи отдельных бассейнов, изменением климата и фаунистических комплексов.

Нижнеэоценовые отложения Поволжья в составе пролейских и царицынских слоев по фаунистической характеристике и сходству фаций входят в каневскую свиту, которая может быть, таким образом, выделена

в пределах южной части Русской платформы в качестве единой стратиграфической единицы, отвечающей нижнеэоценовым отложениям всего региона.

Поступило
25 VII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Д. Архангельский, Матер. для геол. России, 22, 1 (1904). ² А. Д. Архангельский, Тр. Геол. ком., нов. сер., 155 (1928). ³ А. Н. Криштофович, Тр. ВСЕГЕИ, палеонтология и стратиграфия (1952). ⁴ Г. П. Леонов, Бюл. МОИП, отдел. геол., 14 (4) (1936). ⁵ Г. П. Леонов, Уч. зап. МГУ, 26 (1936). ⁶ Е. В. Милановский, Геология Волго-Донского водораздела, 1930. ⁷ Е. В. Милановский, Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья, 1940. ⁸ А. В. Нечаев, Тр. Общ. естествоисп. Казанск. унив., 32, 1 (1897). ⁹ А. П. Павлов, Бюл. Моск. общ. естествоисп., № 4 (прилож. к протоколам заседаний) (1896). ¹⁰ А. Р. Рэлоу, Guide du VII Congrès Géol. Internat., 1897. ¹¹ В. П. и Е. П. Семеновы, Уч. зап. Саратов. гос. унив., 37, вып. геол. (1953). ¹² H. Fagchaud, Mém. de la Soc. géol. France, nouv. sér., 13, fasc. 4, mém. № 30 (1936). ¹³ Е. В. Чибрикова, Изв. АН СССР, сер. геол., № 6 (1954). ¹⁴ А. Л. Яншин, Геология Сев. Приаралья, 1953.

Н. В. ИЗМАЙЛОВА

**О СТРОЕНИИ ТЕРРАС ДНЕПРА В РАЙОНЕ ВОДОХРАНИЛИЩА
ИМ. ЛЕНИНА И О ЧЕТВЕРТИЧНЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЯХ
ЭТОГО РАЙОНА**

(Представлено академиком Н. М. Страховым 12 XII 1955)

При изучении берегов Днепровского водохранилища им. Ленина экспедицией Одесского государственного университета в 1953 г. в пределах бывшего порожистого отрезка долины была обнаружена и описана четвертая надпойменная терраса Днепра. Строение этой террасы в настоящее время стало доступным для наблюдения благодаря созданию водохранилища и образованию отвесных абразионных уступов берега. Наличие описываемой террасы в районе Запорожья отмечалось еще Ф. П. Саваренским ⁽¹⁾. Однако ее недостаточная морфологическая выраженность при отсутствии разрезов послужила причиной того, что более поздние исследователи ⁽²⁾ эту террасу не находили.

Терраса встречена в южной части водохранилища с перерывами по обоим его берегам, от Запорожья до Федоровки. Остров им. Ленина, острова Хортица, Таволжанский и Кучугурный представляют останцы той же террасы. Четвертая надпойменная терраса порожистого отрезка р. Днепр является эрозионно-аккумулятивной. Ее основанием служит выветрелая и размытая поверхность докембрийских кристаллических пород, расположенная на высотах 25—30 м по отношению к уровню р. Днепр до создания водохранилища. В настоящее время кристаллический цоколь в нижней части водохранилища затоплен, его можно наблюдать близ уреза на о. Таволжанском и против с. Федоровка; на о. Кучугурном поверхность цоколя поднимается над уровнем водохранилища на 25 м. Аллювиальный покров террасы представлен мелко- и тонкозернистыми песками. Пески постепенно переходят в лессовидные супеси с прослоями глинистого ожелезненного песка. Отметки поверхности террасы в береговом уступе колеблются между 54—62 м абсолютной высоты. По мере удаления от берега поверхность террасы заметно поднимается и постепенно, без выраженного в рельефе уступа, переходит в склон плато. На поверхности террасы располагаются навесные пески, образующие бугристый рельеф. В большинстве своем пески закреплены растительностью, но местами развеваются и нагромождаются в кучугуры.

Наличие в порожистом отрезке долины Днепра четвертой надпойменной террасы, образование которой, по всей вероятности следует отнести к ливинской ледниковой эпохе, свидетельствует в пользу того, что долина Днепра в пределах Украинского кристаллического массива сформировалась еще до эпохи максимального оледенения. Присутствие той же террасы выше Днепропетровска и на Нижнем Днепре (Никопольская терраса) доказывает одновозрастность долины Среднего и Нижнего Днепра.

Данные о строении террас предпорожного, от Верхнеднепровска до Днепропетровска, и порожистого, от Днепропетровска до Запорожья, отрезков долины Днепра позволяют сделать общую и приближенную оценку относительных эпейрогенических движений этих двух участков долины.

В порожищем отрезке, помимо описанной четвертой надпойменной представлены также третья, вторая и первая надпойменные террасы. Построению все они эрозионно-аккумулятивные с цоколем из докембрийских кристаллических пород. Средние значения высоты поверхности цоколя для третьей террасы по отношению к бытовому уровню р. Днепр (уровню реки до создания водохранилища) составляют 10—13 м. Вторая и первая террасы имеют общее основание с относительной высотой около 5—8 м.

В предпорожье четвертая и третья террасы относятся к эрозионно-аккумулятивным. Данные о высоте коренного цоколя имеются лишь для третьей

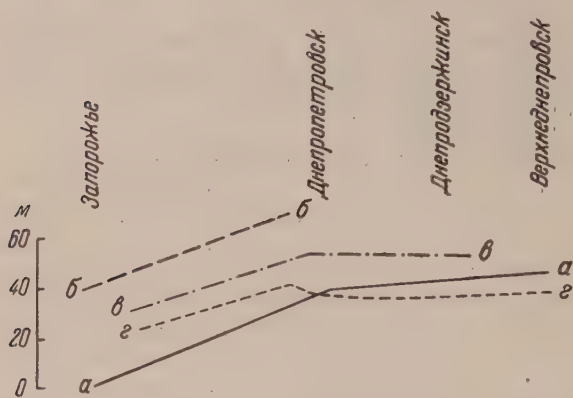


Рис. 1. Схема расположения поверхностей размыва в долине Днепра от Запорожья до Верхнеднепровска. а — современный уровень врезания Днепра, б — поверхность размыва в основании четвертой надпойменной террасы, в — поверхность размыва в основании третьей надпойменной террасы, г — поверхность размыва в основании второй и первой надпойменных террас

террасы. На правом берегу кристаллические породы в основании этой террасы поднимаются на 3—6 м над уровнем реки. Вторая и первая террасы предпорожья подстилаются коренными породами харьковского яруса или докембрием на отметках около 39—40 м, так что их основание располагается ниже уровня Днепра на 8—12 м.

Приведенный схематический чертеж показывает относительное расположение современного уровня размыва Днепровской долины (примерно параллельно-

го уровня поверхности воды в реке до создания водохранилища) и более древних поверхностей размыва, сохранившихся в основании террас.

Можно считать, что смещение двух последовательных по времени образования поверхностей размыва по величине пропорционально амплитуде колебательных движений. При этом отрицательное (вниз) смещение более молодого из двух уровней размыва свидетельствует об эпейрогеническом поднятии, положительное — об опускании.

Исходя из общепринятой схемы синхронизации нижних первой и второй надпойменных террас Днепра с валдайским оледенением, третьей — с днепровским и четвертой — с лихвинским, можно нарисовать следующую картину эпейрогенических движений.

В порожищем участке долины Днепра прослеживается постоянная тенденция к эпейрогеническому поднятию. Наибольшая амплитуда поднятия, вызвавшая врезание на 15—18 м, характеризует лихвинско-днепровскую эпоху, меньше размеры поднятия в днепровско-валдайское междуледниковье (врезание долины порядка 5 м), в послеледниковое время амплитуда поднятия вновь увеличивается.

В предпорожье наибольшая амплитуда поднятия характеризует днепровско-валдайскую эпоху, ей соответствует углубление долины примерно на 14 м. В послеледниковое время поднятие сменяется относительным погружением. Амплитуда поднятия порожищного участка долины Днепра по отношению к предпорожному в послеледниковую эпоху равна около 16 м.

Приведенная выше приближенная характеристика колебательных движений отражает геоструктурные особенности различных участков днепровской долины. Порожищный отрезок полностью принадлежит Украинскому кристаллическому массиву и обладает устойчивым положительным направ-

ением движений. Днепр в предпорожье располагается на стыке Украинского кристаллического массива и Днепро-Донецкой тектонической впадины, которые характеризуются различными амплитудами колебательных движений. Большая скорость восходящих движений Украинского кристаллического массива создает эффект относительного погружения Днепро-Донецкой впадины. Этим пограничным положением объясняется неустойчивость характера колебательных движений в долине Днепра, которая попеременно вовлекается то в восходящие, то в нисходящие движения.

Одесский государственный университет
им. И. И. Мечникова

Поступило
4 III 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ф. П. Саваренский, Путеводитель экскурсий второй четвертично-геологической конференции, 1932. ² А. А. Лепікаш, Матер. комплексн. експед. в районі ніпрельстану, 1, 1934.

С. П. КОЗЛЕНКО

КЛАССИФИКАЦИЯ СТРУКТУРНЫХ ПОДНЯТИЙ ПО ВОЗРАСТНЫМ ПРИЗНАКАМ

(Представлено академиком Н. С. Щатским 30 XI 1955)

Платформенные тектонические структуры третьего порядка составляют несколько генетических типов. Настоящая статья посвящена структурным поднятиям общего генезиса, часто именуемым типично платформенными. Не связанные с соляной или гипсовой тектоникой, такие структуры формируются в осадочном чехле платформы, как предполагают многие исследователи, под воздействием движений кристаллического фундамента. Эти группы они подразделяются главным образом по морфологическим признакам, независимо от истории их формирования, т. е. без раскрытия возрастных соотношений.

Идея возрастной классификации структурных поднятий подсказана практикой нефтяной разведки на Русской платформе. Геологи и геофизики, работающие в районах Волго-Уральской нефтеносной области, уже давно употребляют выражение «девонские структуры». Но не все понимают его одинаково. Некоторые именуют девонскими такие структуры, которые лишь закартированы по девонским горизонтам, но не имеют надежных признаков формирования именно в девонском периоде.

Используя фактические материалы глубокого бурения и сейсморазведки, накопленные за последние годы в Саратовском Поволжье, попытаемся набросать схему возрастной классификации типично платформенных структур этого района, предварительно составив общее представление об основных особенностях местных процессов структурообразования. Эти особенности могут быть охарактеризованы следующим образом:

1. Формированию структур свойственна многофазность. Многочисленные фазы платформенного тектогенеза отмечаются на протяжении длинного ряда эпох — от нижнего палеозоя до неогена.

2. Наблюдается резкое различие в интенсивности фаз. Самыми значительными из них являются четыре фазы, время проявления которых падает на одну из эпох нижнего палеозоя, франкий век, конец палеозоя и начало неогена.

3. На ряде этапов большие промежутки между кратковременными интенсивными фазами заполнены движениями особого рода, которые характеризуются длительностью, слабой интенсивностью и, что особенно примечательно, одновременностью с процессами осадконакопления, на что указывает закономерное распределение мощностей отложений.

4. Отмечается обновление структурных планов напластований от эпохи к эпохе. Это доказывается следующими фактами:

а) меняющейся интенсивностью структурообразования в пунктах длительной тектонической активности;

б) возникновением процессов структурообразования в новых пунктах;

в) полным затуханием процессов структурообразования в пунктах прежней тектонической активности без последующего возобновления;

г) то же, но с последующим возобновлением;

д) возникновением структурных поднятий на участках, ранее характеризовавшихся наличием в их пределах местных прогибов.

Ввиду ограниченности фактического материала, характеризующего эвектоническую жизнь рассматриваемого района в нижнепалеозойские эпохи, описание классификационных групп начинается с девонских структур.

А. Девонские структуры. Первые фазы формирования таких структур относятся к девонскому периоду. Установить это можно при помощи метода мощностей, основываясь на разработанной В. В. Белососовым и подтверждающейся многочисленными фактами, теории компенсационных процессов распределения осадков на дне морского бассейна, глубина которого не превышает 200 м.

Девонские структуры можно подразделить на три основные группы:

1. Погребенные девонские структуры. Это такие структуры, которые были сформированы в девонском периоде, в девонской толще сохранили свои основные черты до наших дней, но не имеют отражения в верхнем палеозое, мезозое и кайнозое. Эти структуры свидетельствуют о возникновении, развитии и затухании процессов структурообразования в течение не более двух верхних эпох девонского периода (отложения нижнего девона в разрезах Саратовского Поволжья не установлены).

Погребенные девонские структуры обнаруживаются с большим трудом. Их поиски средствами глубокого бурения связаны с большими затратами материальных средств и времени. Для разыскания таких структур самым эффективным методом могла бы явиться сейсморазведка, но существующий методический и технический уровень сейсмических работ пока не обеспечивает в условиях Саратовского Поволжья качественного решения этой задачи.

К погребенным девонским структурам относится Гуселкинская структура, нащупанная глубоким бурением и сейсмикой в правобережной части Саратовского вала.

2. Девонские структуры, отраженные в верхнем палеозое. Это такие структуры, которые возникли в девоне, продолжали формироваться в верхнем палеозое, но не получили отражения в мезозое и кайнозое. Среди них имеются структуры, которые более или менее четко отражены в нижнем карбоне, но выше по разрезу расплываются и затухают. Такова Пристанская структура, выявленная сейсморазведкой в правобережной части Саратовского вала. Есть и такие структуры, которые находят отражение выше по разрезу, например в среднем карбоне, и затухают лишь в мезозое. К ним принадлежит Шуменкинская структура, выявленная сейсморазведкой в заволжской части Саратовского вала.

В связи с тем, что сейсмический метод в Саратовском Поволжье на ряде участков в настоящее время обеспечивает достаточно уверенное структурное картирование по отражающим горизонтам всех трех отделов карбона, поиски девонских структур второй группы несколько облегчены. Материалы сейсморазведки, среди которых отсутствуют коррелирующиеся отражения от горизонтов терригенной толщи девона, недостаточны для окончательного решения вопроса о девонской давности первых фаз структурообразования. Но можно предполагать, что в условиях Саратовского Поволжья, в частности в системе Саратовского вала, структуры, хорошо выраженные по горизонтам верхнего палеозоя, но не имеющие отражения в мезозое и кайнозое, как правило, относятся к девонским структурам второй группы.

3. Девонские структуры, отраженные в верхнепалеозойских, мезозойских и кайнозойских отложениях. Это такие структуры, которые возникли в девоне и продолжали формироваться в верхнем палеозое, мезозое и кайнозое. К этой группе принадлежат такие структуры Саратовского Правобережья, как Соколовогорская, возможно, Горючкинская, а в ближнем Саратовском Заволжье — Степновская и Генеральская. Для структур этой группы ха-

рактарно смещение сводов с глубиной, иногда сопровождающееся заметным изменением простираций. Качественные и количественные характеристики такого несовпадения сводов структуры на разных стратиграфических уровнях, по видимому, обусловлены воздействием ряда факторов, в том числе таких, как направление и степень изменения мощностей различных комплексов отложений в пределах площади, занятой структурой. Строго говоря, в каждом таком пункте мы имеем дело не с одной единственно возникшей тектонической структурой, а с совокупностью длинного ряда структур, последовательно возникавших и расположившихся на разных стратиграфических уровнях, переживших каждая свою особую отличную от других геологическую историю, но объединенных общностью генезиса и относительно постоянством местоположения общего очага дислокаций, с которыми были связаны процессы их первоначального формирования и многократных последующих моделировок.

Б. Верхнепалеозойские структуры. Первые фазы формирования таких структур относятся к нижнему карбону. Особо интенсивные восходящие движения отмечаются в конце палеозоя. Верхнепалеозойские структуры можно подразделить на две основные группы:

1. **Погребенные верхнепалеозойские структуры.** Это такие структуры, которые были сформированы в верхнем палеозое, в верхнепалеозойской толще сохранили свои основные черты до наших дней, но не имеют отражения в мезозое и кайнозое. К ним можно отнести Рыбушанскую структуру, выявленную сейсморазведкой по отражающим горизонтам в карбоне между Саратовским и Доно-Медведицкими валами. Но как указывалось выше, есть некоторое основание большинства структур, хорошо выраженных в верхнем палеозое, но затухающих выше по разрезу, относить к отраженным девонским структурам. Поэтому не исключено, что со временем будет установлена принадлежность Рыбушанской структуры к другой классификационной группе.

2. **Верхнепалеозойские структуры, отраженные в мезозое и кайнозое.** Это такие структуры, которые возникли в верхнем палеозое и продолжали формироваться в мезозое и кайнозое. Они являются такими же «сквозными», как и девонские структуры третьей группы, с той существенной разницей, что деформация девонской толщи обязана в них структурообразованию, протекавшему в более поздние эпохи попутно захватившему подстилающую толщу девона, тогда как в девонских структурах третьей группы девонские слои деформировались в девонские же эпохи, а позже претерпели неоднократные повторные деформации сначала совместно с верхним палеозоем, затем с мезозоем и кайнозоем.

Верхнепалеозойские структуры второй группы являются самыми распространенными в Саратовском Поволжье. К ним относятся такие структуры, как Тепловская, Елшанская, Песчанометская и ряд других, принадлежащих к системе Саратовского вала.

В. Верхнекайнозойские структуры. Это такие структуры, которые формировались после палеогена, но до акчагыла, т. е. приблизительно в миоцене. Встречаются они редко, так как структурообразование в верхнем кайнозое обычно протекало в пунктах ранее существовавших верхнепалеозойских (реже — девонских) структурных поднятий. Собственно верхнекайнозойской является Слещовская структура, расположенная в западной части Саратовского вала.

Для выделения в Саратовском Поволжье самостоятельных мезозойских или палеогеновых структур пока нет сколько-нибудь серьезных оснований. Этот длинный ряд сравнительно молодых эпох характеризуется здесь не большой силы тектоническими подвижками, влияющими не столько на создание новых и моделировку существовавших структурных поднятий, сколько на положение береговых линий морей и смену фаций отложений.

Г. Ф. ЛУНГЕРСГАУЗЕН

**ПЕРИОДИЧНОСТЬ В ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА ПРОШЛЫХ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭПОХ И НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ГЕОХРОНОЛОГИИ**

(Представлено академиком Н. С. Шатским 30 XI 1955)

1. Минимальные по продолжительности периодические колебания климата связаны со сменой дня и ночи. Значение этих колебаний как фактора динамической геологии очень велико. Вместе с тем, достоверные следы их в геологическом прошлом почти неизвестны (^{19, 21}).

2. Годичные (сезонные) изменения климата относятся к числу наиболее изученных. Классическим образом отражения их служат ленточные глины (varve sediments) областей развития последнего оледенения (^{8, 10-12}). В ряде случаев отмечалось сложное строение в пределах отдельных годовых осадков, обязанное, видимо, влиянию периодических ливней и засух. Подобные явления наблюдались в ленточных сланцах девона Южного Алтая и нижнего карбона Тянь-Шаня, в нижнем мелу Западного Приверхоянья и т. д.

3. Помимо годичных изменений, существуют более длительные ритмические колебания климата с периодами в несколько лет. Неоднократно указывались периоды в 2,7; 3,5; 5—6; 9; 11; 35 лет. Рассмотрению соответствующих вопросов посвящена значительная литература. Ниже сообщаются только некоторые новые, ранее неизвестные, факты.

4. В позднем докембрии Южного Урала выражены периоды в 3—3,5; 5—6; 11,5 и 30—35 лет, а в докембрии Енисейского края — в 3,4 и 12 лет. В нижнем кембрии Лены нашли отражение ритмы в 2,9—3,3 и 10,1—12 лет. В карбонатных водорослях нижнего ордовика Центральной Сибири, наряду с повсеместно заметными ритмами в 3,2 года, намечается периодичность в 10,5 и 29—35 лет. В нижнем карбоне бассейна р. Каракал (Тянь-Шань) следы климатических периодов отвечают циклам в 3,1 и 9—11 лет. Девонские *Collenia* Минусинской котловины обнаруживают ритмичность, отвечающую периодам в 9—13 лет. В ленточных сланцах девона Алтая можно уловить периодичность в 2,7—2,8 лет. В годовых кольцах верхнепермского *Mesopytis Tschihatcheffi* (Goepf.) Zsl. из Кузнецкого бассейна заметны циклы в 3,1 и 11,5 лет. В юрской древесине из бассейна р. Вилуя отражены периоды в 3,1 и 11 лет, а в древесине хвойных из нижнего мела Приверхоянья — в 3,5 и 12 лет. В среднеэоценовых сланцах формации Green River (США) отчетливо выражены ритмы в 3,2 года, судя по диаграммам Бредли (⁶), хотя этот исследователь указывает только более сомнительные циклы в 11—12 лет.

Примеры климатических ритмов в четвертичных отложениях приводились неоднократно (⁵) и др.). Ограничимся немногими дополнительными данными.

Рассмотрение геохронологических диаграмм ленточных глин окрестности Ленинграда, а также Швеции (¹²), Финляндии (¹¹), Аргентины (⁸) и Чили (¹⁰) приводит к выводу о существовании климатических периодов в 2,9—3,3; 9—13; 30—35 и 60 лет. В ледниково-озерных отложениях, обрамляющих северный фас Алтая, выражены ритмы в 2,8—3,02; 10,4 и 24—25 лет. В древ-

них дюнных комплексах бассейна Лены отчетливо выступает ритмичность в 3,1—3,5; 10,6—11,6; 30—35 и 70 лет. Указанные средние величины находят подтверждение в данных дендрохронологии: в годовых кольцах старых лиственниц Центральной Якутии прослежены ритмы в 3—3,6; 10,7—11; 35; 65—70 лет.⁵

5. Статистика многих тысяч наблюдений, относящихся к объектам геологического прошлого, показывает, что наиболее универсальные значения имеют периодические колебания климата в 3, 11, 25—35 лет. Сравнительное изучение следов этих колебаний позволяет заключить, что 3-летний цикл отвечает моментам климатического оптимума, в то время как 11-летний (так же 35- и 75-летние?) обычно связан с ухудшением климатических условий.

6. Периодические колебания климата более высоких порядков почти не изучены. В кривых солнечной радиации, построенных Миланковичем⁽¹⁷⁾, хорошо заметны периоды, близкие к 21 000 лет, т. е. отвечающие циклу предвращения равноденствий. Возможно, отражением этих периодов является чередование ледниковых максимумов⁽¹⁴⁾. Попытки отыскания подобных же крупных климатических циклов непосредственно по характеру наслоения геологических толщ нельзя признать убедительными^(8, 22).

7. Несомненно, самым замечательным обстоятельством, неизбежно следующим из суммы известных фактов, является вывод о планетарном характере и поразительном постоянстве основных климатических циклов на протяжении геологической истории. Это обстоятельство заставляет предполагать существование некоторой общей закономерной причины периодических изменений климата, скорее всего, лежащей вне Земли. В отношении 11-летнего периода подобное заключение твердо установлено (цикл солнечных пятен), в отношении других — наиболее вероятно.

8. Практическим следствием из указанного вывода является возможность широкой корреляции явлений, связанных с климатическими изменениями определенного типа. С этой точки зрения не вызывают принципиального возражения, например, попытки коннекции ленточных глин Скандинавии и Финляндии, с одной стороны, и Аргентины и Чили — с другой^(8, 10), хотя конкретное решение задачи и не кажется бесспорным.

9. В поисках периодических изменений климата высшего порядка внимание геологов привлекают следы древних оледенений. Последние известны в отложениях почти всех геологических систем. Задача состоит в сравнительной оценке этих образований с целью исключения из анализа признаков оледенений местного значения.

10. Факты, касающиеся оледенений третичного, мелового, юрского, триасового, девонского и кембрийского времени, не дают основания усматривать в них памятники великих (планетарных) холодных эпох.

11. Последнее великое оледенение Земли отвечает четвертичному периоду. Максимальная продолжительность его не превышает 500—600 тысяч лет. Предшествующее великое оледенение охватывает конец каменноугольного и начало пермского периодов. Продолжительность его исчисляется несколькими миллионами лет. Еще более древнее оледенение, очевидно, также планетарного типа, есть основание предполагать в ордовике. Соответствующая эпоха похолодания была весьма длительной и распространялась на начало готландия. Значение этого оледенения не нашло еще должной оценки у геологов. Следы оледенения указывались в Тюрингии, Англии и Канаде. Сюда же частью могут принадлежать тиллиты Аляски и Столовой горы в Южной Африке⁽¹³⁾. Достоверные ледниковые образования описаны в нижнем ордовике Боливийских Анд⁽¹⁶⁾ и в ордовике Среднего Урала (наблюдения К. А. Львова). На огромных пространствах западной части Сибирской платформы к концу нижнего и началу среднего ордовика отмечается установление своеобразной физико-географической обстановки с господством сухого и достаточно холодного климата (погребенные дюны, отпечатки кристаллов льда, сланцы с сезонной слоистостью).

В докембрийских отложениях описаны многочисленные следы оледене-

ий. Наиболее полно изучено оледенение позднего докембрия или эопалеозоя. Памятники его распространены в обоих полушариях. К уже известным фактам, касающимся как зарубежных стран (^{1, 9}), так и СССР (^{2, 20}), можно прибавить открытие тиллитов в Патомском нагорье, а также вероятное присутствие ледниковых образований в позднем докембрии Таймыра. В составе собственно протерозоя отмечено не менее двух ледниковых комплексов: муронский и тимискаминский (или сёдбери) с их аналогами в Африке, Южной Азии, Европе и Австралии. Наконец, следы грандиозных оледенений обнаружены в архее (Канада, Южная Африка и т. д.), однако стратиграфия их еще слабо разработана.

12. Абсолютный возраст эпохи гондванского оледенения достаточно однозначно определяется в $190\text{--}210 \cdot 10^6$ лет. Возраст ордовикского оледенения может быть определен в $380\text{--}400 \cdot 10^6$ лет. Нижняя граница докембрийского ледникового комплекса не древнее $580\text{--}600 \cdot 10^6$ лет. Возраст двух главных протерозойских оледенений точно не вычислен, однако возраст нижней границы их достаточно уверенно оценивается в $1\text{--}1,2 \cdot 10^9$ лет, что хорошо согласуется с возрастом подстилающих толщ архея. Таким образом, периодичность великих оледенений Земли выражается величиной порядка $190\text{--}200 \cdot 10^6$ лет.

13. Указанная величина близко совпадает с другой величиной, совершенно независимо полученной астрономами: с продолжительностью галактического года, т. е. периода полного обращения солнечной системы вокруг галактического центра (^{3, 4}).

14. Кажется очевидным, что перемещение солнечной системы из внутренних, насыщенных звездными мирами частей галактики, во внешние, разреженные, области так же как движение в обратном направлении, должно находить отражение в режиме солнечной радиации и (косвенно) в активности процессов, протекающих как в воздушной и жидкой оболочках Земли, так и внутри земной коры, и в подкорových ее массах.

15. Отрезок орбиты солнца, проходящий в наиболее удаленных от центра галактики периферических зонах с минимальной звездной плотностью, по видимому, должен характеризоваться установлением на Земле обстановки великих оледенений («космических зим»).

16. Для абсолютного возраста синхлического покрова Земли указывается величина, близкая к предельной: $3,3 \cdot 10^9$ лет (¹⁵), что составляет 15—16 космических лет. Следует думать, что такое же количество раз Земля подвергалась оледенениям планетарного типа, т. е. переживала состояние космической зимы.

17. Сопоставление данных, касающихся последнего ледникового периода и великих оледенений прошлого, заставляет сделать наиболее вероятный вывод, что Земля еще не вышла из фазы космической зимы (ледникового периода). Этот вывод не расходится с представлениями астрономов, которые склонны предполагать, что солнечная система в настоящее время находится во внешней, более разреженной части галактики (⁴).

18. Известны многочисленные попытки установления прямой причинной зависимости между горообразованием и оледенениями (^{7, 18}). Подобная концепция вряд ли может выдержать серьезную критику (¹). Даже поверхностное рассмотрение данных, относящихся к эпохам горообразования и оледенений, убеждает в ее несостоятельности. Главные орогенные эпохи не только не совпадают с великими оледенениями (не предваряют их), но во многих случаях являются их антиподами. Средняя периодичность орогенных циклов не соответствует периодичности великих оледенений (короче ее). В связи с этим, по видимому, следует обсудить возможное влияние на физическую природу Земли колебательных движений, совершающихся перпендикулярно к плоскости галактики. Период их, как известно, в 2,5 раза меньше периода полного галактического обращения.

19. Установление зависимости между критическими событиями в истории Земли и закономерностями космического порядка, следовательно, при-

знание строгой периодичности геологических явлений, в том случае, если оно будет подтверждено дальнейшими исследованиями, обяжет к пересмотру существующей геохронологической шкалы и к разработке новой, более рациональной ее системы. Успешность решения этой задачи будет зависеть от совершенствования методов определения абсолютного возраста горных пород и от успехов небесной механики и гелиофизики. Повидимому, перестройка геохронологической шкалы в первую очередь коснется самых крупных таксономических единиц: эр (= групп). Последние могут помещаться в объеме космического года. Таким образом, верхний плиоцен, четвертичный период и современная эпоха составят начало современной (антропогенной) эры. Предшествующая эра должна охватить третичный период (без верхнего плиоцена), весь мезозой, пермский период и конец карбона (стефанское время). Еще более древняя эра включает верхнюю часть ордовика, готландий, девон и почти весь карбон (без стефанского времени, т. е. без нижней гондваны). В состав нижнепалеозойской эры должны войти кембрий (keweenawan и т. д.), кембрий и нижняя часть ордовика. Основные отделы протерозоя (сёдбери, гурон, быть может, анаймики) должны приобрести значение групп (эр). Степень изученности архея, особенно в свете наметившейся в последнее время общей ревизии взглядов на возраст метаморфических комплексов в ряде областей классического их развития, пока недостаточна для выработки универсальных геохронологических подразделений.

20. Предлагаемый пересмотр геохронологической шкалы вряд ли встретит непреодолимые препятствия со стороны палеонтологии. Хорошо известна спорность палеонтологических признаков для проведения некоторых границ между системами и даже группами. Нередко при этом традиция играет большую роль, чем объективное свидетельство фактов. Что же касается палеоботаники, то ее данные скорее подтверждают высказанные соображения о направлении возможной перестройки геохронологической системы. Нижнепалеозойская эра в указанном выше объеме отвечает фикомикофитной эре ботаников⁽²³⁾; верхняя палеозойская эра точно совпадает с палеоофитной эрой; эра, начинающаяся с эпохи гондваны и захватывающая мезозой и третичный период, соответствует мезофитной и кайнофитной эрам развития флоры.

Всесоюзный
Аэрогеологический трест

Поступило
29 XI 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. С. Берг, Землеведение, 2(42) (1948). ² Г. Ф. Лунгерсгаузен, Сов. геология, 18 (1947). ³ П. П. Паренаго, Курс звездной астрономии, М., 1954. ⁴ Х. Шепли, Галактики, М., 1947. ⁵ В. Б. Шостакович, Изв. Всес. геогр. общ., 76, 4 (1944). ⁶ W. H. Bradley, U. S. Geol. Surv., prof. paper, 158-E (1929). ⁷ C. Brooks, Climate through the Ages, L., 1950. ⁸ C. C. Caldenius, Geogr. Annaler, 1—2 (1932). ⁹ A. P. Coleman, Ice Ages Recent and Ancient, N. Y., 1926. ¹⁰ G. De Geer, Geogr. Annaler, 3—4 (1929). ¹¹ G. De Geer, Geogr. Annaler 2 (1930). ¹² G. De Geer, Kungl. svens. vetenskapsakad. handiglar, tr. ser., 18, 6 (1940). ¹³ A. L. Du Toit, The Geology of S. Africa, L., 1939. ¹⁴ B. Eberl, Die Eiszeiten folge im Nördl. Alpenvorlande, Augsburg, 1930. ¹⁵ A. Holmes, Geol. Mag., 74, 2 (1947). ¹⁶ J. Keidel, Bol. Acad. nation. d. Ciencias, 36, 2—3 (1943). ¹⁷ M. Milankovitch, Handb. d. Geophysik, 9, 3 (1938). ¹⁸ W. Ramsay, Geol. Mag., 61 (1924). ¹⁹ M. Schwarzbach, Zs. Deutsch. Geol. Ges., 92 (1940). ²⁰ A. N. Tchurakov, Bull. Geol. Soc. Amer., 43, 3 (1932). ²¹ M. Vierke, Abhandl. Geol.-Pal. Inst. Greifswald, 18 (1937). ²² A. Winkler, Neues Jahrb. f. Mineral. etc., 53 (1926). ²³ W. Zimmermann, Die Phylogenie der Pflanzen, Jena, 1930.

И. А. ШАМРАЙ и Е. П. ЛАЗАРЕВА

**ПАЛЕОГЕНОВЫЕ СОССOLITHORHORIZAE
И ИХ СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ**

(Представлено академиком Н. М. Страховым 12 XII 1955)

Многочисленная группа известковых организмов, известная под именем кокколитофорид, имеет значительное распространение в современных морских бассейнах. Широкое развитие они имели также в морских водоемах более древних эпох. Известковые остатки этих тонких организмов нередко слагают мощные толщи известковых пород. Распространенные на юге Европейской части Советского Союза мощные толщи писчего мела составлены почти нацело тончайшими раковинами кокколитов и их обломками. Также преимущественно кокколитовый состав имеют известковые слои палеогена, как, например, некоторые горизонты фораминиферовой свиты на Северном Кавказе и киевского яруса на юге Русской платформы.

Однако до последнего времени эти организмы не привлекли к себе должного внимания геологов. В существующей немногочисленной литературе, касающейся этих организмов, рассматривается главным образом их породообразующая роль. На весьма важное породообразующее значение этих организмов в свое время обратил внимание А. Д. Архангельский⁽¹⁾, указав, что известковые слои верхнего мела Русской платформы имеют органогенный, преимущественно кокколитовый состав. К этому же выводу пришел Г. И. Бушинский⁽²⁾, выполнивший детальные литологические исследования верхнемеловых отложений Днепровско-Донецкой впадины.

Литологическими исследованиями В. Т. Малышева⁽³⁾ установлен преимущественно кокколитовый состав известкового материала мощных отложений фораминиферовой свиты на Северном Кавказе. Наконец, нашими исследованиями палеогеновых отложений^(4, 5) на значительной площади их распространения (Нижняя Волга, Ергени, Восточный Донбасс, Приазовско-Кубанская депрессия) также установлен почти исключительно кокколитовый характер известкового материала этих отложений. Преимущественно кокколитовым составом в этой полосе характеризовались не только чисто известковые слои этих отложений, как например, киевский ярус верхний эоцен), но обычно остатками этих организмов представлено и известковое вещество, примешанное в тех или иных количествах к глинистым породам более высоких и более низких горизонтов палеогена.

Вместе с тем, наши исследования показали, что видовой состав кокколитов в различных в возрастном отношении частях палеогеновой толщи меняется и, наоборот, весьма постоянен для одновозрастных слоев, взятых для различных районов этой большой площади. Это позволяет рассматривать эти органические остатки не только как породообразующий фактор, но и с точки зрения их значения для целей корреляции и стратиграфии. Заруднение возникает в весьма слабой изученности кокколитов и в отсутствии номенклатурных определений. Лишь небольшое количество их для меловых форм нашло определение в известной работе А. Д. Архангельского⁽¹⁾ по верхнему мелу и в работе Брамлет и Ридель⁽⁶⁾ по третичным формам.

Попытку дать классификацию ископаемых кокколитофорид сделал Дефландре⁽⁷⁾. В основу классификации он положил главным образом морфологический признак и отчасти оптическое поведение известкового вещества, слагающего эти органические остатки. В частности, он выделяет группу кокколитов на основе их микросферолитового строения, что вряд ли правильно. Наши наблюдения показали, что микросферолитовое строение этих раковинок следует рассматривать как вторичный признак. Ломан⁽⁶⁾ пытается классифицировать кокколитофориды на основании биологических признаков, но он рассматривает исключительно современные виды этих организмов, между тем как эту классификацию вряд ли можно применить для ископаемых видов. Тем более, что некоторые представители их, как, например, дискоастеры, в современных бассейнах не встречаются. Поэтому нам кажется, что для ископаемых представителей этого типа организмов на первых этапах их исследования можно предварительно применить морфологическую классификацию (общий габитус, характер и строение отдельных частей раковины, тип перегородок между камерами, форма и количество камер и т. д.).

Как и принято большинством предшествующих исследователей⁽⁶⁾ среди этих организмов предварительно можно выделить две группы: собственно кокколиты и дискоастеры. Первые из них характеризуются округлой дисковидной или эллипсоидальной раковинкой, зачастую с хорошо заметными несколькими камерами, разделенными внутренними перегородками, вторые имеют звездчатую форму. Для различных видов варьирует количество лучей звезды, а также характер строения лучей. Для различных представителей изменяются также и размеры раковинок, варьирующие от 4—5 до 20—25 μ . Повидимому, следует выделить и третью группу, известную под именем рабдолитов. Однако в данной работе мы этой группы касаться не будем.

Среди многочисленных видов кокколитов, распространенных в палеогеновых отложениях, мы коснемся лишь некоторых представителей наиболее характерных для описываемых разрезов и в стратиграфическом отношении наиболее ценных.

Для среднеэоценовых отложений нами исследованы кокколитофориды по ейскому, выселковскому, южно-ергенинскому, сталинградскому и другим разрезам. Одной из характерных форм для этих отложений является *Coccolithus corticosus* sp. nov. (рис. 1). Это эллипсоидальная четырехкамерная раковинка с размерами в пределах 10—11 μ по длинной оси и 6—7 μ по короткой. Стенка раковинки толстая, многослойная. Перегородка внутри полости имеет вид двух полудуг, сходящихся своими вершинами в центре раковины.

Для этой части разреза можно выделить в качестве стратиграфически руководящих видов также группу крупных дискоастеров с конусообразными шиповидными лучами (рис. 1, 2). Размеры дискоастеров колеблются в пределах от 11 до 14 μ . Лучи звезды конусной, шиповидной формы, остро заканчивающиеся. Зачастую длина лучей одной и той же формы различная, у основания лучи звезды продольно гофрированы, вдоль луча проходит несколько изгибающаяся складочка. От основания звездчатого тела этих дискоастеров, обычно в виде черенка, отходит трубчатый выступ также с гофрированной в виде звезды стенкой. Лучи звезды прямые. Обычно дискоастеры шестилучевые, но нередко наблюдаются семилучевые и восьмилучевые формы. Этот наиболее распространенный в низах среднего эоцена вид, мы предлагаем назвать *Discoaster aeocenicus* sp. nov. Нередко встречаются экземпляры (рис. 1, 3) с саблевидно изогнутыми лучами, что вероятно можно считать видовым признаком самостоятельной формы. Диаметр раковинки равен 23 μ . Подобная форма описана под именем *Discoaster lodensis*⁽⁶⁾. Авторы считают эту форму характерной также для среднеэоценовых отложений (Куба, Гаити, Тринидад).

Исключительно в среднеэоценовых отложениях, особенно в их низах



Рис. 1

встречается форма *Discoaster molaris* sp. nov. (рис. 1, 4) с характерными, несколько расширяющимися к концам лучами, соединенными тонкой известковой перепонкой. Количество лучей обычно достигает восьми, но встречаются и шестилучевые формы. Размеры раковинок колеблются в пределах 3—8 μ .

Значительное развитие в верхах среднего и в низах верхнего эоцена имеет *Coccolithus tetracellus eleganticus* sp. nov. (рис. 1, 5). Это средней величины гонкая изящная эллипсоидальная форма с размерами по длинной оси 8—10 μ . Форма характеризуется весьма тонкой стенкой и четырехкамерной внутренней полостью, разделенной тонкой же перегородкой в виде буквы «Н» с изогнутыми полуovalом поперечными перегородками. Камеры заполнены четырьмя ядрышками, повидимому, вторичного, опала.

Для этих же отложений характерен *Coccolithus cruciatus* sp. nov. (рис. 1, 6). Это сравнительно крупная эллипсоидальная форма с размерами раковинки до 20—23 μ с многослойной стенкой. Четырехкамерная внутренняя полость разделена перегородкой в виде несколько скошенного креста. Внутри раковинки помещается четыре мелких опаловых ядрышка, возможно, вторичного происхождения. Эта форма несколько напоминает вид, описанный Брамлет и Ридель под именем *Coccolithus grandis* (6). Однако у нашей формы отсутствует штриховка стенки раковинки и иксообразная перегородка, в отличие от *Coccolithus grandis*, совпадает своей острой биссектрисой с короткой осью эллипсоидальной раковинки.

Среди многочисленных дискоастеров в этих отложениях преобладают шестилучевые формы. Особенно характерной является форма или ряд форм с прямыми цилиндрическими лучами, рогообразно разветвленными на концах лучей. Зачастую, как например, в низах верхнего эоцена (керестинская свита В. Г. Морозовой) Сталинградского и Куберлинского разрезов, лучи звезды имеют в средней части пару небольших симметричных выступов. В центре звездчатого тела имеется трубчатый гофрированный, также в виде шестилучевой звезды, выступ (рис. 1, 7). Подобные формы предлагается назвать *Discoaster corniger* sp. nov. Диаметр раковинок достигает 10 μ .

Верхние горизонты верхнеэоценовых отложений, исследованные нами в ряде разрезов Восточного Донбасса, Южных Ергеней, Нижней Волги и Прикубанской депрессии, характеризовались также весьма многочисленными видами дискоастеров и кокколитов. В частности, характерными формами для зоны Bolivina Прикубанской депрессии и для верхнекиевских отложений северо-восточной окраины Донбасса явились следующие формы дискоастеров и кокколитов: *Discoaster unguineus* sp. nov. (рис. 1, 8). Это форма с переменным количеством (от шести до восьми) лучей характеризуется очень короткими лучами. Лучи остроконечные, обычно несколько изогнутые, напоминающие когти животных. Каждый луч выпукло выделяется в теле раковины. В центре раковины отходит в виде черенка тонкий трубчатый выступ. Диаметр раковинки колеблется в пределах 8—10 μ .

Очень частой формой здесь является пятилучевой *Discoaster durusradiatus* sp. nov. (рис. 1, 9). Раковинка обычно пятилучевая, реже шестилучевая. Размер раковинок 8—10 μ . Лучи конусные, овально закругляющиеся на концах. Периферическая линия луча грубая. Соединение лучей происходит на расстоянии $\frac{1}{3}$ от центра раковины. *Discoaster membranae formae* sp. nov. (рис. 1, 10). Это также большей частью пятилучевая, реже шестилучевая форма. Лучи почти до самого их конца соединены между собой тонкой известковой перепонкой. Форма луча конусно-лепестковидная. В центре раковины имеется трубчатый выступ. Диаметр раковинки 7—10 μ .

Для верхов киевского яруса бассейна р. Быстрой, северо-восточной окраины Донбасса, следует отметить своеобразную цветковидную форму *Discoaster floridus* sp. nov. (рис. 1, 11) с лепестковидными, тупо заостренными к концу лучами. Лучи дискоастера одним краем черепитчато перекрывают друг друга. В средней части дискоастера отходит небольшой труб-

чатый выступ. Число лучей дискоастера чаще всего 12, реже 10. Размеры этого вида достигают 14—15 μ в диаметре.

Многочисленная группа кокколитов представлена обычно однокамерными дисковидными или эллипсоидальными формами, мало отличающимися от форм более низких горизонтов палеогена. Встречается также, но сравнительно более редко, чем в нижележащих отложениях, крупный кокколит *Coccolithus formae crusus* sp. nov. Здесь впервые появляется новая форма *Coccolithus trinicellus* sp. nov., но ее расцвет приходится на олигоценовое время.

Основной руководящей формой олигоценовых отложений является отпечатанная выше *Coccolithus trinicellus* sp. nov. (рис. 1, 12). Это сильно вытянутая эллипсоидальная раковинка с несколько скошенными концами. Стенка раковинки однослойная, тонкая, внутренняя ее полость трехкамерная. Камерки разделены двумя поперечными параллельными перегородками. Внутренние полости обычно заполнены опалом, повидимому, вторичного происхождения. Раковинка имеет в длину 5—6 μ . Из других представителей часто встречаются мелкие однокамерные формы, размером 5—6 μ . Стенки кокколитов нередко штрихованные.

Среди сравнительно редких дискоастеров преобладают пятилучевые формы, обычно с прямыми, цилиндрическими лучами.

Таким образом, как видно из приведенных данных, описываемые остатки микроорганизмов из группы кокколитов и дискоастеров в палеогеновых отложениях юга Европейской части СССР весьма многочисленны и разнообразны. Однако по вертикальному разрезу палеогеновых отложений видовой состав их меняется, что позволяет ставить вопрос о возможности их использования для целей стратификации и корреляции палеогеновых отложений и о необходимости разработки кокколитового стратиграфического метода.

Кокколитовый метод стратиграфических расчленений и корреляций заслуживает серьезного внимания, так как он чрезвычайно прост и более доступен, нежели другие существующие методы (микропалеонтологический, метод пылецевого анализа и т. д.). При использовании кокколитов для указанных целей не требуется сложной и длительной предварительной обработки, как при микропалеонтологическом методе. Наблюдение и определение этих организмов можно вести при помощи простых иммерсионных препаратов, что позволяет пользоваться кокколитовым методом непосредственно в полевой обстановке и давать быстрые заключения о стратиграфическом положении палеогеновых слоев.

Ростовский государственный университет
им. В. М. Молотова

Поступило
22 VIII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Д. Архангельский, Материалы по геологии России, 1912. ² Г. И. Бушинский, Тр. Инст. геол. наук АН СССР, 156 (1954). ³ В. Т. Малышек, ДАН, 59, № 2 (1948). ⁴ И. А. Шамрай, ДАН, 67, № 6 (1949). ⁵ И. А. Шамрай, Уч. зап. Рост. гос. ун-в., 18 (1952). ⁶ M. N. Bramlette, W. R. Riedel, J. of Palaeont., 28, No. 4 (1954). ⁷ G. Deflandre, Traité de paléontologie, Paris, 1952.

С. Г. КАШТАНОВ

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ТАТАРСКОГО СВОДА

(Представлено академиком Н. М. Страховым 12 XII 1955)

Как известно, Татарский свод — это крупная тектоническая структура, выраженная на поверхности докембрийских пород ⁽⁵⁾. Наиболее древними его образованиями (вскрытыми скважинами) являются породы осадочно-метаморфической толщи, сложенной гнейсами и сланцами.

В древнем и нижнем палеозое Татарский свод представлял собой приподнятый участок, имевший явно расчлененную поверхность с амплитудой рельефа до 400—750 м. За счет продуктов разрушения этого свода в прилегающих с востока депрессиях отлагались осадки так называемой бавлинской свиты. Интенсивное погружение, охватившее большую часть Русской платформы, произошло в живетское время, когда территория Волжско-Камского края покрылась морем, в котором откладывались мелководные осадки. В Поволжье значительные участки (Татарский свод, Токмаковский свод) оставались островами, среди обширного неглубокого морского бассейна. В верхнем девоне трансгрессия моря расширялась. Морской режим являлся ведущим вплоть до конца нижней перми, когда начался общий подъем территории. На фоне этого режима происходили колебательные движения (на границе турне — визе, в начале среднего карбона и др.), когда массив Татарского свода вздымался. Размыв осадков способствовал образованию гидрогеологических «окон», через которые на поверхность земли открывался доступ захороненным девонским водам (Чистопольский район). В пределах островов тогда циркулировали пресные воды. В дальнейшем и те и другие воды в результате последующих трансгрессий оказывались погребенными под морскими осадками.

Конец нижней перми ознаменовался сильными поднятиями, и в Поволжье установился континентальный режим. Только что отложенная гипсово-ангидритовая толща выступила на поверхность, подвергаясь размыву и карстованию. На территории Татарского свода в то время, возможно, происходил интенсивный водообмен.

В уфимский век наметилось новое погружение, обусловившее затем трансгрессию казанского моря. Воды этого моря по их химическому составу не были одинаковыми в пространстве и времени. В нижеказанском бассейне (центральной его части) они были относительно близкими к обычным морским водам, а в верхнеказанском — сравнительно засоленными. И в нижеказанское и в верхнеказанское время на восточной окраине моря существовала обширная, тяготеющая к Уралу, зона опресненных вод. Полоса их доходила в первом случае — от Урала до среднего Прикамья (устья р. Белой), во втором — до низовьев Камы (почти до г. Чистополя).

В сложных условиях движений колебательного порядка, происшедших в татарском веке, описываемая территория вновь стала сушей ⁽⁴⁾. Татарский свод в течение почти всего мезозоя, палеогена и неогена представлял собой континентальную область, в которой интенсивно протекали процессы выветривания и эрозии. Лишь вдоль южной, западной и частично северной его

окраины происходило оседание, куда распространялось верхнеюрское а затем верхнемеловое море. В конце мезозоя и эти территории освободились от заливавших их морей и стали сушей.

В Поволжье алдйские движения наибольшей интенсивности достигли на грани палеогена и неогена, которые вызвали опускания и поднятия отдельных блоков кристаллического фундамента. Повидимому, в это время произошли погружения по периферии Татарского свода, приведшие к окончательному формированию крупных прогибов (Мелекесского и др.), а также заметные погружения внутри его (Камско-Зайинский прогиб).

Омолуженный и высоко приподнятый над окружающей местностью массив Татарского свода представлял собой область оживленной эрозии и сноса. В начале плиоцена существовал уже вполне оформленный, резко выраженный рельеф с хорошо разработанной гидрографической сетью. Реконструкция этой сети показывает, что в пределах Мелекесского, Казанского и Камско-Зайинского прогибов шла разработка крупных рек — Праволги и Пракамы с их многочисленными притоками. Глубина вреза Пракамы опускалась до 150—200 м ниже современной поверхности поймы, достигая отметки — 110—175 м.

В плиоцене произошли опускания восточной части Русской платформы вследствие чего долинная сеть заполнилась мощной толщей (до 250 м) аккумулятивных отложений. Дальнейшие опускания привели к трансгрессии акчагыльского моря. Это способствовало значительному ослаблению эрозионной деятельности. В то время, когда в прогибах шла накопление плиоценовых осадков, массив Татарского свода продолжал подвергаться размыву и разрушению.

Позднее, в конце апшеронского века, вследствие понижения базиса эрозии оживились процессы размыва и сноса, вновь возросла интенсивность расчленения поверхности. Рельеф Татарского свода в течение четвертичного времени развивался в условиях дифференцированных тектонических движений.

Таким образом, Татарский свод в течение длительного времени (мезозой и кайнозой) представлял собой сушу, являлся древней областью питания водоносных горизонтов. В условиях континентального режима, атмосферные осадки имели полную возможность для просачивания вглубь, в толщу пород морского и лагунно-континентального происхождения, содержащих сильно минерализованные воды. При этом происходило вытеснение морских соленых вод и постепенное промывание солевых комплексов, заключенных в горных породах. Данному процессу благоприятствовала также интенсивная эрозия указанных крупных рек, прорезавших толщу пермских отложений, водоносные горизонты которых оказались вскрытыми. Следовательно, еще в неогене создавались благоприятные условия для дренирования этих горизонтов, вследствие чего существенно изменился режим подземных вод в пределах пермских и более молодых отложений. В связи с глубоким дренированием эти воды стали играть видную роль в составе поверхностного стока.

Местами в тектонически приподнятых участках речной эрозией была вскрыта нижнепермская гипсово-ангидритовая толща. Тем самым был открыт доступ на поверхность земли напорным, сильно минерализованным нижнепермским и каменноугольным водам и создавалась естественная разгрузка глубоких водоносных горизонтов⁽¹⁾. Влияние этой разгрузки сказывалось на всю толщу карбона, возможно, даже на девонские воды (окрестности г. Чистополя).

Вскрытие пород казанского яруса и сульфатно-карбонатных пород сакмаро-артинского яруса способствовало более активному проявлению карстовых процессов; последние оказывали косвенное влияние и на развитие рельефа (Елабуга, Камские Поляны). Активное проявление карста имело место в доакчагыльское время — в период разработки переуглубленных долин Праволги и Пракамы и в начале четвертичного периода.

Четвертичный период с его великими оледенениями и огромными потоками пресных вод в межледниковое время был весьма благоприятным для питания водоносных горизонтов. Базисом эрозии речной сети Татарского свода в это время стала Волга.

В современных условиях в пределах Татарского свода в гидрогеологическом разрезе осадочной толщи отчетливо выделяются два водонасыщенных комплекса, разделенных нижнепермской гипсово-ангидритовой пачкой пород⁽³⁾. Нижний комплекс, включающий толщу девона и карбона, содержит напорные соленые хлоркальциевые воды, характеризуется закономерным повышением минерализации с увеличением глубины. Минерализация этих вод достигает 250 и более граммов на литр.

Верхний комплекс залегает выше базиса эрозии крупных рек. Находясь в условиях местной области питания, значительная масса подземных вод дренируется густо разветвленной овражно-речной сетью, благодаря чему водоносные горизонты, независимо от их стратиграфической принадлежности (пермские, юрские, неогеновые, четвертичные) характеризуются водами слабой минерализации.

На границе этих комплексов наблюдается своеобразная промежуточная зона, в которой формируются сульфатные воды относительно невысокой минерализации (2—12 г/л). При этом состав воды в значительной мере определяется интенсивностью процессов ее взаимодействия с горными породами.

По характеру водоносности в пределах верхнего комплекса выделяются две зоны. Воды первой из них (верхней), являясь безнапорными, межпластовыми и находясь обычно в условиях интенсивного дренирования, не представляют собой большого практического значения. Воды второй зоны имеют субартезианский характер и вскрываются лишь буровыми скважинами. Сток их обусловлен разностью отметок пьезометрических уровней на водораздельных пространствах и уровнем речных долин. В пределах данной зоны проницаемые породы насыщены водой, благодаря чему в ней образуются несколько водоносных горизонтов. Эти воды с успехом используются для коммунального и промышленного водоснабжения.

Однако местами, в зонах глубокого вреза плиоценовой долины (Мелекесский прогиб и др.), наблюдается высокий подъем восходящих минерализованных (сульфатных) вод, что нередко затрудняет использование для питьевых целей вод верхних горизонтов.

Поступило
22 VIII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. Г. Каштанов, Уч. зап. Казанск. гос. ун-в., 112, 8 (1952). ² С. Г. Каштанов, Изв. Всесоюз. географ. общ., 86 (1954). ³ А. И. Силин-Бекчурин, Тр. Лабор. гидрог. пробл., 4 (1949). ⁴ Е. И. Тихвинская, ДАН, 64, № 2 (1949). ⁵ Б. М. Юсупов, ДАН, 95, № 5 (1954).

МИНЕРАЛОГИЯ

Е. Г. КУКОВСКИЙ и И. Д. СЕДЛЕЦКИЙ

**ГИДРОХЛОРИТ ИЗ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ АМФИБОЛИТА
ЮГА УКРАИНСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА**

(Представлено академиком В. А. Обручевым 4 XI 1955)

Гидрохлорит впервые был описан В. И. Вернадским ⁽¹⁾. В дальнейшем гидратированные хлориты изучались рядом исследователей ^(2, 3, 9). Однако до сих пор этот минерал или группа минералов изучена недостаточно; у различных авторов такие минералы называются то гидрохлоритом, то измененным хлоритом, то набухающим хлоритом и т. д. Важность изучения гидрохлоритов очевидна, так как они встречаются довольно широко, особенно

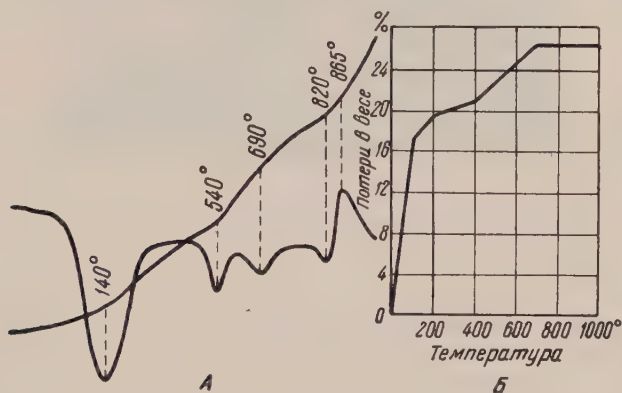


Рис. 1. Кривая нагревания (А) и кривая обезвоживания (Б) гидрохлорита

в коре выветривания основных и ультраосновных пород, и с ними связан ряд ценных полезных ископаемых.

Нами исследован разрез коры выветривания амфиболита на юге УССР, в котором обнаружена зона гидрохлорита мощностью до 2 м, с постепенным переходом от исходной породы — амфиболита в основании зоны в гидрохлорит и через монтмориллонит в верхней части зоны, в каолинит. Образец был взят в средней части гидрохлоритовой зоны и изучен комплексом методов минералогических исследований.

Микроскопически это зеленовато-серая глинистая порода, слегка жирная наощупь, с редкими обохренными налетами и жилками. Породы заметно сохраняет следы массивной текстуры исходной амфиболовой породы, подвергавшейся выветриванию. В воде не набухает. От HCl не вскипает. Сульфатнокислый бензидин окрасил суспензию образца в мутно-голубой цвет, метиленовый голубой окрасил породу в фиолетовый цвет, который почти не изменился при прибавлении KCl. Этот же осадок в кислой среде изменил свою окраску на голубой цвет. Характер осадка рыхлый. Все это указы-

вает на своеобразие минералогического состава, в котором не участвуют ни каолинит, ни монтмориллонит.

Под микроскопом, в шлифе, имеет чешуйчатое, местами спутанно-волокнистое строение основной глинистой массы. Отдельные чешуйки имеют желтовато-серые и сероватые цвета интерференции и угасают под углом до 5° . В иммерсионном препарате средний показатель преломления чешуи лежит в пределах 1,569—1,571.

На дифференциальной кривой нагревания (см. рис. 1, А) имеется четыре эндотермических эффекта. Первый глубокий эндотермический максимум

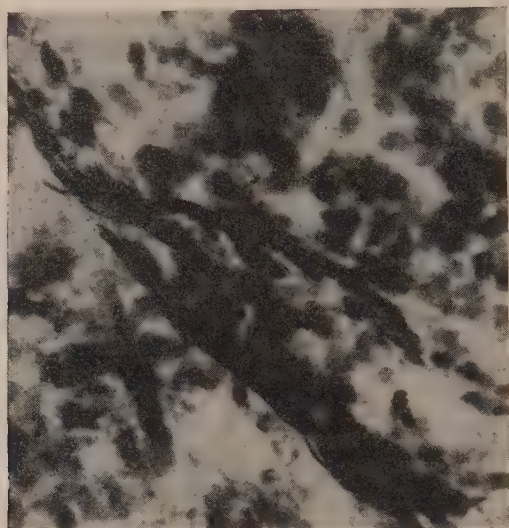


Рис. 2. Электронномикроскопический снимок фракции 0,001 мм из образца гидрохлоритовой породы

при 140° связан с выделением, по нашему мнению, межплоскостной воды, находящейся между бруситовыми и слюдястыми слоями, третий и четвертый эндотермические максимумы, при 690° и 820° , связаны с выделением воды из бруситового и слюдястого слоя, причем сравнительно глубокий эффект при 690° указывает на то, что данный гидрохлорит по составу является магний-алюминиевым, что также подтверждается данными химического анализа за породы. Результаты химического анализа образца гидрохлоритовой породы следующие (в %): SiO_2 49,91; TiO_2 1,15; Al_2O_3 18,04; Fe_2O_3 4,72; FeO 0,53; MnO 0,02; CaO 1,65; MgO 3,31; K_2O следы; Na_2O следы; H_2O^+ 7,71; H_2O^- 13,18; сумма 99,72.

Резкий экзотермический эффект при 865° указывает на полное разрушение структуры хлорита и на образование силиката магния⁽⁵⁾. Эндотермический максимум при 540° в сочетании с низкотемпературным максимумом относится за счет иллита, находящегося в смеси с гидрохлоритом. Кривая обезвоживания (рис. 1, Б) полностью отвечает характеру дифференциальной кривой нагревания. Она имеет два подъема: до 200° за счет выделения 19,5% межпакетной воды и от 400° до 700° за счет выделения 5,5% кристаллизационной воды. Общая потеря в весе составила 26,3%.

Результаты обезвоживания образца гидрохлорита.

Т-ра в $^\circ\text{C}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Потеря в весе в %	17,2	2,3	0,8	0,7	2,0	1,7	1,6	0	0	0

Рентгеновские исследования проводились для фракции меньше 0,01 мм, полученной отмучиванием породы из золы гидрохлорита. Рентгенограммы

были сняты с фракции до нагревания, затем с фракции, нагретой в течение 1 часа при 350°, и с фракции, прокаленной в течение 30 мин. при 650°. Термическая обработка фракции осуществлялась с целью изучения поведения базальных рефлексов 001 в 15,3 Å, сходного, как известно, с базальным рефлексом монтмориллонита (14—17 Å) и 002 в 7,7 Å, сходного с базальным рефлексом каолинита (7,01—7,25 Å).

В результате исследования (табл. 1) выяснилось, что базальный рефлекс (001) при нагревании до 350° изменился незначительно: с 15,31 до 15,10 Å и более значительно при нагревании до 650°: с 15,10 до 12,59 Å. Этот рефлекс не может быть монтмориллонитовым, так как при нагревании до 500° он должен уменьшиться до 10 Å⁽⁹⁾. Базальный рефлекс (002) также остается почти неизменным при нагревании, что указывает на его некаолиновый характер; как известно, на рентгенограмме каолинита этот рефлекс исчезает при нагревании минерала при 550°; сохраняются постоянными рефлексы и других порядков отражения. Все это указывает на отсутствие в тонких фракциях монтмориллонита и каолинита и подтверждает наличие особого минерала. На рентгенограммах также видно, что рефлексы (001) 12,59 Å и (003) 4,790 Å при нагревании усиливают свою интенсивность, а рефлексы (002) 7,936 Å и (004) 3,486 Å ослабляют ее. Это указывает, повидимому, на отсутствие железа в гидрохлорите и наличие в нем магния, а рефлекс от (060) 1,486—1,503 Å указывает на преобладание алюминия, находящегося в шестерной координации. На рентгенограммах также зафиксировались линии иллита с межплоскостным расстоянием в 10,86—9,701; 4,458—4,478 Å и др. Слабая интенсивность линий иллита указывает на небольшое содержание его во фракции.

Таблица 1

Данные рентгенограмм гидрохлорита фракции < 0,01 мм до нагревания и после нагревания (Fe-излучение, диаметр камеры 65,76 мм)

№№ линий	hkl	До нагревания		Нагр. до 350°		Нагр. до 650°	
		инт.	$\frac{d}{n}$, Å	инт.	$\frac{d}{n}$, Å	инт.	$\frac{d}{n}$, Å
1	001	10	15,31	10	15,10	10	12,59
2		8	10,86	7 диф.	9,787	5 диф.	9,701
3	002	3	7,725	4	7,586	3	7,936
4	003	3	4,938	5	4,839	5	4,790
5		8	4,479	8	4,440	8	4,458
6	004	1	3,530	1	3,530	2	3,486
7		3	3,032	5	3,082	6	3,157
8	005	3	2,865	3	2,794	2	2,816
9	131	7	2,539	7	шир. 2,554	5	2,564
10	006	3	2,341	3	2,342	3	2,465
11	131	1	1,845	1	1,839	1	1,866
12	136	5	1,686	5	1,684	5	1,689
13	137	5	1,641	5	1,647	5	1,656
14		1	1,526	1	1,529	1	1,536
15	060	8	1,486	8	1,489	8	1,503
16	139	3	1,417	3	1,366	1	1,374
17	400	5	1,284	5	1,282	3	1,290
18		4	1,242	4	1,240	2	1,245
19		5	1,127	3	1,125	—	—

Обозначения: диф.—диффузная; шир.—широкая, измеренная посредине.

Эталонные рентгенограммы хлоритов приводятся в работах В. И. Михеева⁽⁴⁾, Г. В. Бриндли и К. Робинсона⁽⁸⁾.

На снимках фракции меньше 0,001 мм, полученных под электронным микроскопом при увеличении в 25000 раз (см. рис. 2), видны волокнистые и удлиненные палочковидные кристаллы и их обломки, которые мы от-

носим за счет гидрохлорита. На снимках также наблюдаются более мелкие чешуйки округлой формы с размытыми краями, которые можно отнести к гидрослюдистым образованиям (по М. Ф. Викуловой ⁽⁶⁾) типа иллита.

Таким образом, тонкие фракции исследованного образца из коры выветривания амфиболита сложены в основном гидрохлоритом, в котором в виде примеси содержится иллит. На основании микроскопических, термических и рентгенографических исследований и по химическому составу устанавливается, что данный гидрохлорит является гидратированным магниевым хлоритом.

Киевский государственный университет
им. Т. Г. Шевченко

Поступило
4 XI 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. И. Вернадский, Минералогия, 1912. ² И. И. Гинзбург, И. И. Руткавишников, Минералы древней коры выветривания Урала, 1951. ³ Д. П. Сердюченко, Тр. ИГиН АН СССР (1953). ⁴ В. И. Михеев, Зап. Минер. общ., 82 (1953). ⁵ В. П. Иванов, Тр. ИГиН АН СССР (1949). ⁶ М. Ф. Викулова, Электронномикроскопические исследования глин, 1952. ⁷ М. Ф. Викулова, Н. Е. Веденеева, Метод исследования глинистых минералов с помощью красителей и его применение в литологии, 1951. ⁸ Г. В. Бриндли, К. Робинсон, Сборн. Рентгеновск. методы определ. минералов глин, 1955. ⁹ Д. М. Мак-Эван, там же.

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

А. Г. ЭБЕРЗИН

ОБ ОТЛОЖЕНИЯХ С *UNIO STURI* M. HÖRNES И ЕГО ЗНАЧЕНИИ
ДЛЯ СТРАТИГРАФИИ ПЛИОЦЕНА УКРАИНЫ И МОЛДАВИИ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 31 XII 1955)

Очень своеобразные представители наяд, описанные Морицем Гёрнесом в 1856 г. под названием *Unio sturi*, относятся к числу тех немногих пресноводных двустворчатых моллюсков, которые имеют очень ограниченное вертикальное распространение и признаются за руководящие формы самого верхнего горизонта плиоцена Венгрии и Славонии ⁽¹⁾. В последней они приурочены к зоне с *Viviparus vicotinioviči*, т. е. к верхам «верхних палудиновых слоев» ⁽²⁾.

Первые находки *Unio sturi* M. Hörn. в пределах Понто-Каспийского бассейна относятся к началу нашего века. Впервые этот вид был обнаружен Н. А. Григоровичем-Березовским ⁽³⁾ в Бессарабии у с. Карагач во вторичном залегании, в виде окатанных обломков, в слоях с нижнечетвертичными *Viviparus* («*Paludina diluviana*») и *Corbicula fluminalis* Muhl. Затем, близкие к *Unio sturi* M. Hörn. формы были определены В. В. Богачевым из верхнеплиоценовых отложений, пройденных скважиной в г. Краснодаре ⁽⁴⁾, и подробно описаны им же из плиоценовых отложений, развитых в Донской обл. по р. Сал у хут. Несмиянова ⁽¹⁾. Из этого местонахождения В. В. Богачевым приводятся *Unio sturi* M. Hörn. var. *scutum* Bogach. и *Unio pseudo-sturi* Hal.?, причем последний вид определен условно — под вопросом — вследствие того, что он не тождествен типичной форме, описанной Галавачем.

Кроме этих видов, из того же местонахождения В. В. Богачевым были описаны: *Unio maximus* Pen. non Fuchs*, *U. chasaricus* Bogach., *U. kalmycorum* Bogach., *U. maslakowetzianus* Bogach., *U. aff. maslakowetzianus* Bogach., *U. rumanus* var. *emigrans* Bogach.

Указание на присутствие унионид из группы *Unio sturi* («*Unio aff. pseudo-sturi* Bog.», «*U. cf. pseudo-sturi* Bog.») имеется в работе И. М. Губкина и М. И. Варенцова ⁽⁴⁾. Указанные ими формы были найдены в обнажениях Таманского залива к югу и юго-востоку от горы Горелой в сопровождении нижнечетвертичных кардид, корбикул и дрейссен. К сожалению, авторы не говорят ничего о том, находятся ли эти униониды в коренном залегании или во вторичном. В 1935 г. в обнажении западнее горы Горелой автор этих строк наблюдал рыхлый железисто-бурый мелкогалечный конгломерат с массой крупных конических *Viviparus* и многочисленных *Unio sturi* M. Hörn., помимо которых были найдены: *Limnoscapha tanaica* Ebers., *Unio kalmycorum* Bogach., *U. cf. chasaricus* Bogach., *U. aff. maslakowetzianus* Bogach., *U. emigrans* Bogach. (*U. rumanus* var. *emigrans* Bogach.).

Отделяясь от конгломерата полуметровым пропластком железистого

* Вследствие того, что вид, определенный В. В. Богачевым как *Unio maximus* Pen. non Fuchs, не соответствует ни типу Фукса, ни даже раковине, описанной Пенек, мною для формы, изображенной В. В. Богачевым на табл. 1, фиг. 1—7, было предложено новое наименование: *Limnoscapha tanaica* Ebers. ⁽⁵⁾.

грубозернистого песка, выше располагался слой ракушника с нижнечетвертичными кардидами, корбикулами и дрейссенами. Отсюда явствует, что в районе горы Горелой слои с *Unio sturi* M. Högn. залегают не только ниже четвертичных отложений, но еще отделяются от них немой горизонтом небольшой мощности.

Далее, *Unio sturi* M. Högn. (morpha *circularis* Bogach.) описан В. В. Богачевым⁽²⁾ из апшеронских отложений хребта Ходжашен (Восточное Закавказье).

Unio sturi M. Högn. отмечается В. В. Богачевым и В. П. Евсеевым для верхнеплиоценовых отложений, пройденных буровой скважиной в г. Ейске на глубине 37—49 м от поверхности. Вместе с этим видом были найдены *Limnoscapha tanaica* Ebers., *Dreissena polymorpha* Pall., *Viviparus* sp., *Lithoglyphus* sp., а на глубине 41 м — *Apscheronia propinqua* Eichw.⁽³⁾

На юге Украины *Unio sturi* M. Högn. совместно с *Limnoscapha tanaica* Ebers., *Unio kalmyscorum* Bogach., *U. maslakowetzianus* Bogach. был обнаружен на левом берегу р. Кучурган, около хутора Войнич, на абс. отметке 125 м, в останце верхне-плиоценовой террасы — глыбе грубозернистого песчаника с включениями мелких галек темноцветных пород, в том числе и яшмовых.

Затем окатанные обломки *Unio* cf. *sturi* M. Högn. были найдены во вторичном залегании в отложениях IV террасы Днестра у с. Великая Косница. Возраст этой террасы не моложе нижне-четвертичного времени⁽⁴⁾.

Наконец, совсем недавно *Unio sturi* M. Högn. был найден в большом количестве экземпляров, в сопровождении *Unio* cf. *chasaricus* Bogach., *U. emigrans* Bogach., *Unio* sp., на правом берегу р. Днестра, при впадении в него р. Чорна, в районе с. Бошерица (севернее г. Резина и напротив северного окончания г. Рыбница)*.

Здесь на высоте около 165 м абс., на размытой поверхности песчаноглинистых пород среднего сармата с *Mastra fabreana* Orb., *M. vitaliana* Orb., *Tapes tricuspidatus* Eichw., *Calliostoma* sp., вскрывается двухметровая толща древнего речного аллювия, слагающая верхнюю часть крутого берегового склона. Этот аллювий представлен галечниками, гравиями и песками. Пески преимущественно грубозернистые, неявственно и косослоистые, полимиктовые, обычно ржаво-желтые. В основании аллювиальной толщи наблюдается полуметровый пласт рыхлого мелкогалечного конгломерата, переходящего в гравий и галечник. В этом пласте, вместе с окатанными средне-сарматскими раковинами, главным образом мактрами, встречаются многочисленные *Unio sturi* M. Högn. и реже остальные формы, указанные выше. Хорошая сохранность найдя и наличие изредка парностворчатых их экземпляров говорит о том, что все эти формы находятся несомненно *in situ*, а не во вторичном залегании.

Присутствие *Unio sturi* у Бошерицы в одной из самых высоких террас (V терраса Р. Р. Выржиковского) позволяет установить, с одной стороны, точный возраст этой террасы (конец верхнего плиоцена), а с другой — уточнить несомненно нижнечетвертичный возраст IV террасы Днестра у с. Великая Косница.

Находка *Unio sturi* M. Högn. в двух пунктах Днестра, а также у с. Карагач и по р. Кучургану доказывает широкое распространение этого вида не только на Дону и на Кавказе, но и на обширной площади юго-запада Советского Союза. Такое значительное географическое распространение от Молдавии на западе до Азербайджана на востоке, наряду со строго определенным стратиграфическим положением (конец верхнего плиоцена) как в пределах СССР, так и за рубежом (Венгрия и Славония), придает *Unio sturi* исключительно важное значение в качестве геохронологического показателя. Нетрудно видеть, что присутствие его в высоких террасах Украины

* Местонахождение указано мне П. С. Самодуровым. При совместной с ним экскурсии в Бошерицу нахождение здесь *Unio sturi* M. Högn. *in situ* было с несомненностью подтверждено.

и Молдавии определяет возраст этих террас, а также позволяет синхронизировать их с апшероном западного Предкавказья и восточного Закавказья.

В заключение следует остановиться и на палеоэкологическом значении находок *Unio sturi* M. Högn. Исходя из того, что он принадлежит к числу обитателей пресных вод, причем скорее всего речных, можно ожидать, что он будет попадаться или в речных или в дельтовых отложениях, как это и происходит повсюду, где *Unio sturi* M. Högn. был когда-нибудь найден. Поэтому данный вид может считаться надежным индикатором пресноводных или пониженно соленых условий образования содержащих его осадков.

Палеонтологический институт
Академии наук СССР

Поступило
25 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. В. Богачев, Тр. Геол. ком., нов. сер., 135 (1924). ² В. В. Богачев, Тр. Азерб. фил. АН СССР, геол. сер., 13 (1936). ³ В. В. Богачев, В. П. Евсеев, ДАН, 25, № 9 (1939). ⁴ И. М. Губкин, М. И. Варенцов, Геология нефтяных и газовых месторождений Таманского полуострова, Баку, 1934. ⁵ Н. А. Григорович-Березовский, Изв. Варшавск. унив. (1915). ⁶ Л. Г. Каманин, А. Г. Эберзин, Тр. Инст. геогр. АН СССР, 51 (1952). ⁷ А. П. Павлов, Мем. геол. отд. Общ. любит. ест., антроп. и этногр., 5 (1925). ⁸ А. Г. Эберзин, Научн. зап. Молд. н.-и. базы АН СССР, 1 (1948). ⁹ С. А. Яковлев, Тр. Совещ. обслед. и изуч. Кубанск. края, 9, 1 (1922).

Член-корреспондент АН СССР Н. Н. ЯКОВЛЕВ

ПЕРВАЯ НАХОДКА МОРСКОЙ ЛИЛИИ В КЕМБРИИ СССР

Находка сделана в бассейне р. Лены в Восточной Сибири, и лилия может быть отнесена к отряду Eocrinoidea. Группа морских лилий Eocrinoidea, мало изученная, так как находки ее представителей редки, считается начальной для морских лилий и чрезвычайно интересна. Несмотря на некую неполноту сохранения двух экземпляров описываемого нового рода этой лилии, найденных летом 1955 г. В. В. Любцовым, она обнаруживает некоторые примитивные черты, характерные особенности организации этой группы морских лилий, обособленной в начале XX века известными германским палеонтологом Иекелем, хотя и подвергаемой иногда сомнениям вследствие малой изученности и малого числа известных представителей ее.

Бокаловидная чашечка лилии, в нижней части коническая, а в верхней цилиндрическая, очень тонкостенная. Благодаря поперечному разлому выяснилось, что стенки чашечки имеют толщину примерно листа писчей бумаги, так что если относительно позднейших лилий говорят обыкновенно о составе чашечки из табличек, то здесь уместно говорить о составе ее из пластинок. Может быть, в связи с этим чашечка не имеет правильного расположения этих пластинок поперечными рядами, венцами, так как расположение табличек венцами, согласно принципу кирпичной кладки, вызывается механическими условиями давления вышележащих табличек на нижележащие таблички, какового давления пластинки оказывать или совершенно не могут, или оказывают его в слабой степени. Короткие, неразветвленные без пинул ручные придатки нашей чашечки, так же как указанная неправильность в расположении пластинок, и, наконец, число ручных придатков (около 10) общи у этой лилии и у некоторых цистоидей, например Sphaeronis, Chirocrinus, Echinoecrinus (²), стр. 234, 235) и у морской лилии Cryptocrinus (²), стр. 239). Повидимому, 10 околоротовых пластинок Chizocrinus, обозначенных мною когда-то как адоральные, являются расширенными основными члениками ручных придатков. При слиянии этих табличек попарно могли возникнуть 5 радиальных табличек лилий, на первых порах, может быть, несущих по два ручных придатка, как у группы маленьких верхнепалеозойских лилий Allagecrinidae, воспроизводившей то же число 10 ручных придатков на радиальных табличках,— конечно, при малой величине придатков и отсутствии разветвления, недостаточных для дыхания и питания организма.

При всем том рассматриваемый представитель Eocrinoidea, как и вообще морские лилии, не имел на табличках чашечки пор, характерных для Cystoidea, возмещавших до некоторой степени при посредстве этих пор отсутствие разветвления ручных придатков, как служивших для дыхания.

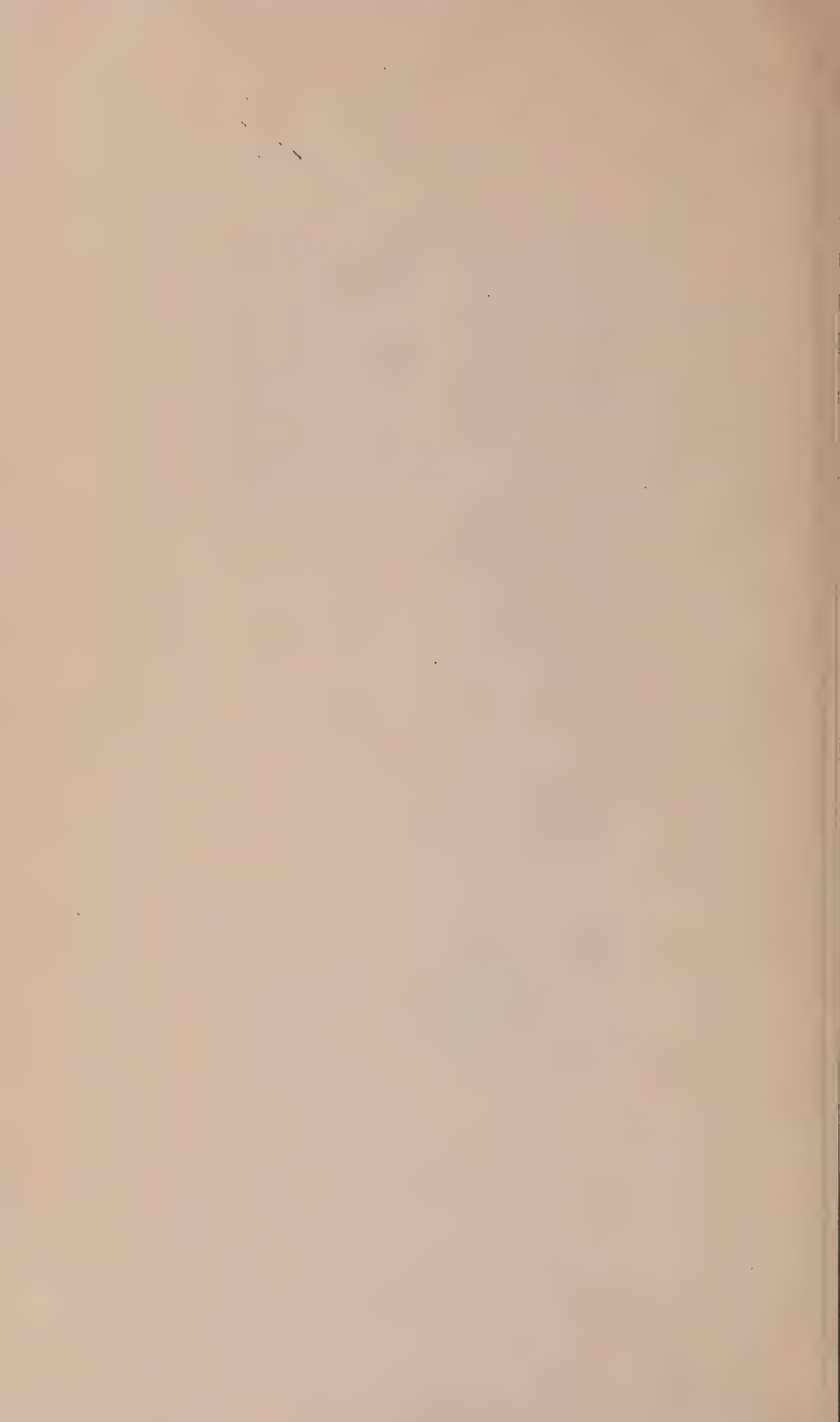
Переходим к более детальному описанию чашечки нашего ископаемого, которому я даю название *Paraecrinus ljubzovi* gen. et sp. nov., имея в виду, что название *Eocrinus* уже дано Иекелем (⁴) для другой лилии. Чашечка имеет плоскую брюшную сторону, на краю которой располагаются бугорки, служившие для приращения ручных придатков. Последние



Рис. 1



Рис. 2



сохранились, но отдавлены несколько на задний план. Этого давления было достаточно, чтобы совершенно сплющить чашечку, приводя в соприкосновение видимую наблюдателю сторону с противоположной стороной, скрытой в породе. Чашечка составлена немногими вертикальными рядами пластинок, вероятно шестью или пятью, из которых на видимой наблюдателю поверхности находятся в верхней цилиндрической части чашечки 3 ряда. Пластинки среднего ряда чередуются с пластинками боковых рядов, и в центре все пластинки бугровидно вытянуты. Средний ряд наверху заканчивается небольшой пластинкой с круглым отверстием (гидропором?). Строение чашечки в нижней конической части менее ясно. Повидимому, здесь имеется меньшее число пластинок, из которых непосредственно над стеблем находятся две. Стебель имеет длину бо́льшую, чем высота чашечки, состоит из цилиндрических члеников, высота которых приблизительно равна поперечнику; участок стебля, прилежащий к чашечке, содержит 7 члеников на протяжении 5,5 мм, так что высота членика и его поперечник менее 1 мм. Высота чашечки на лучше сохраненном экземпляре (см. рис. 1*) составляет около 14 мм, ширина цилиндрической части около 6 мм, длина ручных придатков 16 мм.

Лилия найдена в бассейне р. Тюнг, левого притока Вилюя, в свою очередь левого притока р. Лены, в отложениях, относимых В. В. Любцовым на основании фауны трилобитов к верхам среднего кембрия или к низам верхнего кембрия. В том же местонахождении, что и *Pareocrinus*, Любцовым найден отпечаток, вероятно, медузы, который можно отнести к роду *Brooksella*. Подобные отпечатки описаны Уолькоттом из кембрия США, хотя *Brooksella* указывается до девона включительно.

Попутно для меня встал вопрос о соотношении происхождения цистоидей и морских лилий. Вопроса этого касались различные исследователи и смотрели на него различно. Иекель⁽⁴⁾ считал, что морские лилии дали происхождение цистоидеям. Кено⁽³⁾ предполагает, наоборот, что цистоидеи являются родоначальной группой для морских лилий. Я лично склонялся к последнему мнению, но теперь, в связи с изучением *Pareocrinus*, готов принять мнение Иекеля, этого необыкновенно талантливого исследователя.

Мне кажется, что такая необычно тонкая стенка, как у *Pareocrinus*, легко могла дать тонкостенные поровые складки *Cystoidea*, складки, промежуточные между которыми потом стали утолщенными в связи с утолщением стенок вообще.

С другой стороны, *Eocrinoidea*, первоначально имевшие такие же короткие неразветвленные ручные придатки, как у цистоидей, развили удлинённые и разветвленные руки, лучше служившие для целей дыхания и в особенности питания, почему *Crinoidea* и дожили доныне, тогда как *Cystoidea* вымерли после расцвета их в нижнем палеозое.

Поступило
20 III 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Н. Яковлев, Ежегод. Рус. пал. общ., 3 (1918). ² К. Циттель, Основы палеонтологии, 1, 1934. ³ L. Cuvier, P. Grassé, Traité de Zoologie, 11 (1948). ⁴ O. Jaekel, Pal. Zs., 3 (1918). ⁵ Н. Н. Яковлев, ДАН, сер. А, № 3, 44 (1927).

* Рис. 2 дает изображение лишь ручных придатков второго экземпляра. Оба изображения — с увеличением в 3 раза.

О. В. ВОЛКОВА

О ДВИГАТЕЛЬНОЙ ИННЕРВАЦИИ ЯЗЫКА И ПРИРОДЕ ТАК НАЗЫВАЕМОГО ПСЕВДОМОТОРНОГО ФЕНОМЕНА

(Представлено академиком Н. Н. Аничковым 31 XII 1955)

Общепризнанное положение, что подъязычный нерв является единственным двигательным нервом для поперечно-полосатой мускулатуры языка, в отдельных работах дополняется новыми сведениями. Так, Риенберг⁽⁵⁾ на основании физиологических исследований пришел к выводу, что кроме двигательных окончаний, образованных волокнами подъязычного нерва и обеспечивающих быстрые тетанические сокращения, в языке имеются и другие, образующиеся волокнами барабанной струны и обеспечивающие тонические сокращения. Лангворси⁽⁴⁾ видел, что во внутренних мышцах языка моторные окончания перерождаются при перерезке барабанной струны. Лангворси считал эти окончания симпатическими.

Таким образом, вопрос об источниках, характере и распределении двигательных волокон в мышцах языка и структуре двигательных окончаний нуждается в настоящее время в дополнительных экспериментально-морфологических исследованиях.

Для выяснения характера, хода и источников эфферентных волокон для языка нами были проделаны следующие операции: а) перерезка подъязычного нерва, б) перерезка язычного нерва, в) перерезка языкоглоточного нерва, г) перерезка передних корешков 1-го и 2-го шейных нервов. Оперативные вмешательства производились с одной и с двух сторон. Так как было установлено, что волокна подъязычного нерва одной стороны не заходят на противоположную, то при односторонней перерезке противоположная сторона служила контролем.

Все операции произведены на кошках. Животные убивались эфиром в сроки, начиная от 24 час. и спустя 1 мес. после производства операции. Материал фиксировался в 12% нейтральном формалине и затем обрабатывался по способу Кампоса и Бильшовского — Грос в модификации Лаврентьева.

Исследование экспериментального материала показало, что среди двигательных окончаний на внутренних поперечно-полосатых мышцах языка отчетливо выделяются моторные бляшки двух типов. Одни из них по своим морфологическим признакам ничем не отличаются от бляшек мышц конечностей. Эти бляшки образованы толстыми мякотными нервными волокнами, которые теряют миелин перед самым погружением в подошву бляшки и распадаются на короткие когтеобразные терминалы (рис. 1). Другого типа бляшки обычно сформированы тонкими мякотными волокнами, идущими рыхлыми извитыми пучками, которые теряют миелин еще задолго до погружения в подошву бляшки. Подошва таких бляшек не имеет выраженного овала (рис. 2). Первый тип бляшек характерен для поперечно идущих мышечных групп, второй — для корня языка и продольно идущих мышечных групп.

Надо думать, что имеется связь между строением двигательного окончания и функциональными особенностями иннервируемого им мышечного

волокна. Эта связь подкрепляется тем, что наблюдается выраженная разница в топографии моторных бляшек этих двух типов.

Так, бляшки II типа располагаются на мышцах корня и частично на продольно идущих мышцах языка, т. е. на таких мышцах, которые больше, чем все другие, участвуют и в произвольному рефлекторных движениях. Нужна именно работа этих мышц, чтобы совершить акт глотания в его произвольной и произвольной части. Равным образом, и в поперечно-полосатых мышцах других органов — в гортани и в пищеводе — в последнее время описаны двигательные окончания двух типов (¹, ²), причем факт этот связывается со степенью участия этих мышц в произвольных двигательных актах (дыхание и глотание).

Методом экспериментальной перерезки нервов языка и изучением последующей дегенерации подтверждаются многочисленные сведения о том, что источником эфферентных волокон для языка является подъязычный нерв; при перерезке его дегенерируют двигательные окончания во всем мышечном слое языка (рис. 3).

При этой же операции одновременно с резким расширением кровеносных сосудов наблюдается дегенерация большей части симпатических нервных волокон, иннервирующих эти сосуды. Этот факт позволяет считать, что подъязычный нерв несет и симпатические волокна для языка. Эти данные подтверждают наблюдения физиологов, а также данные В. Г. Татаринова (³), который анатомической препаровкой проследил в языке проникновение конечных веточек подъязычного нерва в толщу стенок кровеносных сосудов.

Ни в нормальном, ни в экспериментальном материале мы не видели симпатических волокон, которые заканчивались бы на поперечно-полосатых мышцах или входили бы в состав двигательной бляшки. Симпатические волокна в языке имеют отношение только к гладкомышечным элементам кровеносных сосудов. Вопрос о прямой симпатической иннервации поперечно-полосатых мышц языка решается отрицательно и Вуллардом (⁶).

Мы считаем важным отметить и следующее: после перерезки подъязычного нерва (независимо от срока, прошедшего с момента операции) небольшое число двигательных бляшек не подвергалось дегенерации. Таких интактных бляшек было немного. Они располагались, в основном, на продольно идущих мышцах языка (рис. 4), среди бляшек, образованных волокнами подъязычного нерва.

С целью выяснения источника этих бляшек производилась перерезка язычного, языкоглоточного нервов и передних корешков 1-го и 2-го шейных нервов. Перерезка последних убеждает, что в составе шейных корешков нет двигательных волокон для мышц языка. То же самое надо сказать и об языкоглоточном нерве. При перерезке же язычного нерва наряду с большим числом дегенерирующих рецепторов можно было видеть и небольшое число дегенерирующих моторных окончаний, располагающихся именно на продольно идущих мышечных волокнах.

Таким образом, можно говорить о двух источниках эфферентных волокон для поперечно-полосатой мускулатуры языка: основным источником является подъязычный нерв, который иннервирует весь мышечный слой языка, дополнительным — язычный нерв, который наряду с подъязычным участвует в иннервации внутренних продольно идущих мышц языка.

Факт наличия двух источников для двигательных нервов языка и особенности распределения окончаний этих двух систем волокон имеют значение и для вскрытия механизма тономоторного феномена (феномена Вульпиан — Гейденгайна). Суть этого феномена заключается в том, что в условиях перерезки подъязычного нерва (через 5—6 дней) раздражение периферического конца язычного нерва вызывает движение языка. Особенно нужно подчеркнуть, что типичный тономоторный эффект выражается медленным укорочением языка, поднимающегося против силы тяжести. Механизм этого движения обуславливается сокращением продольных мышц языка. Наличие на этих мышцах дополнительных двигательных окон-



Рис. 1. Характер ветвления толстых мякотных нервных волокон и образование ими моторных бляшек первого типа. Об. 40×, ок. 15

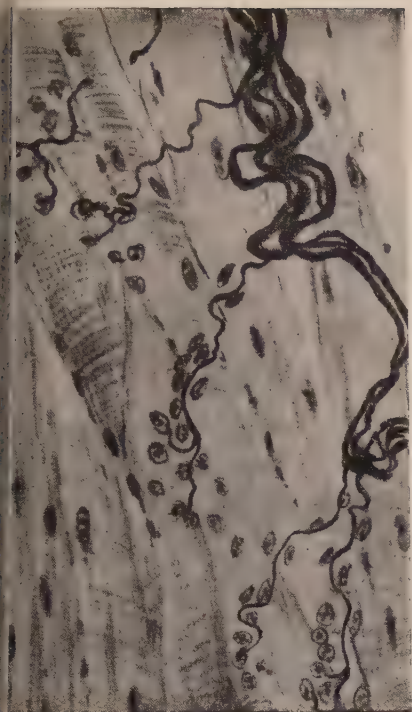


Рис. 2. Моторные окончания второго типа (нервные волокна идут рыхлыми пучками и задолго до погружения в подошву бляшки теряют миелин). Об. 40×, ок. 15

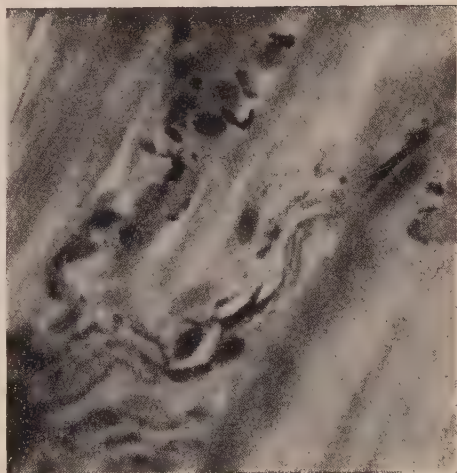


Рис. 3. Перерождение двигательных нервных волокон и их окончаний. Перерезаны подязычные нервы

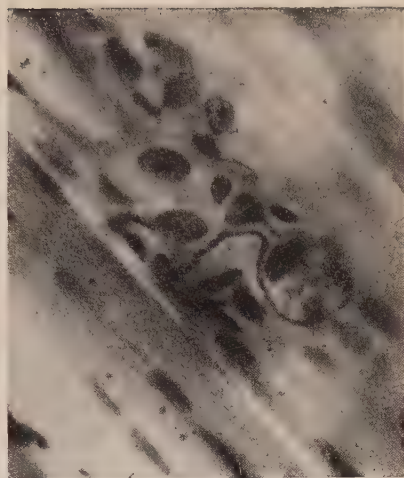


Рис. 4. Сохранившаяся моторная бляшка на продольно идущих мышцах кончика языка. Перерезаны подязычные нервы

аний, образованных волокнами, идущими в составе язычного нерва, объясняет возникновение феномена Вульпиан — Гейденгайна. Незначительная выраженность движений языка в феномене Вульпиан — Гейденгайна полностью соответствует небольшому числу двигательных волокон и их окончаний, образованных язычным нервом на продольно идущих мышечных волокнах языка.

Второй Московский государственный
медицинский институт

Поступило
29 XI 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. С. Грачева, Иннервация гортани, Диссертация, М., 1953. ² Е. Я. Кобытний, Иннервация пищевода, Диссертация, М., 1951. ³ В. Г. Татаринцов, Иннервация артерий и вен языка и нижней зубной артерии человека, Диссертация, М., 1949. ⁴ O. R. Langworthy, Bull. John Hopkins. Hospital 35, 239 (1924). ⁵ C. R. Jenberk, Arch. Neerl., (3b), 2, 496 (1915). ⁶ H. Woollard, J. Anat., 61, 498 (1927).

С. П. СЕМЕНОВ

О ЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ИННЕРВАЦИИ МИОКАРДА ЖЕЛУДОЧКОВ У КОШКИ

(Представлено академиком К. М. Быковым 6 I 1956)

Изучению чувствительной иннервации миокарда млекопитающих посвящено большое число работ, но большинство авторов ограничивалось исследованием предсердий. Это объясняется, повидимому, техническими трудностями. Так Е. К. Плечкова, применив импрегнацию по методу Бильшовского — Грос, выявила большое количество рецепторов в миокарде

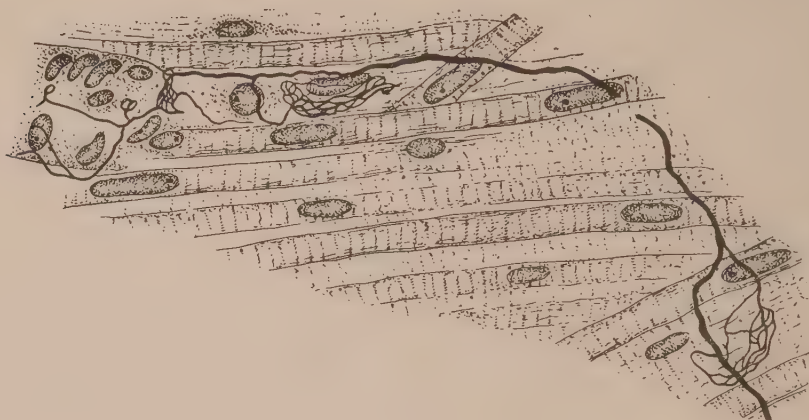


Рис. 1. Чувствительное нервное окончание поливалентного типа в миокарде дорзальной стенки правого желудочка кошки. Бильшовский — Грос. Об. 40, ок. 15

предсердий, но отметила, что выявить их этой методикой в миокарде желудочков не удастся.

Нервные окончания в миокарде желудочков различных позвоночных были выявлены еще Беркли (¹, ²) при помощи метода Гольджи. Однако он не мог решить, являются ли они двигательными или чувствительными, поскольку не располагал экспериментальными данными об их природе. Нам кажется, что изображенные на некоторых рисунках Беркли нервные окончания в виде кустиков являются чувствительными, так как они очень похожи на окончания, найденные в предсердиях А. Е. Смирновым (³) и другими авторами и чувствительная природа которых установлена при помощи метода перерезок. Лишь Кингу (⁴) удалось при помощи окраски метиленовой синью выявить в желудочках крыс рецепторы, имеющие вид нервно-мышечных веретен. В последнее время Чанг (⁵) утверждает, что видел чувствительные нервные окончания в миокарде предсердий и желудочков у кошек и овец, но представленные им описания и рисунки не убедительны.

Нам удалось применением тотальной фиксации сердца через его собственные сосуды увеличить возможности методики Бильшовского — Грос

выявить чувствительные нервные окончания в миокарде желудочков кошки. Одно из сложных чувствительных нервных окончаний, обнаруженное в дорзальной стенке правого желудочка, представлено на рис. 1. Это нервное окончание поливалентного типа. Оно образовано потерявшим мякотное нервным волокном, от которого отходят веточки, образующие чувствительные окончания в виде сетей и широких петель между волокнами мышечного синцития; часть нервных веточек оканчивается на артериоле, образуя здесь концевые колечки. Подобные нервные окончания в миокарде предсердий у кошки были описаны Е. К. Плечковой (6). Своеобразное нервное окончание, найденное в миокарде правого желудочка, изображено на рис. 2. Тонкое безмякотное волокно, отходящее от мякотного волокна, переплетается с разветвлениями другого толстого мякотного нервного волокна. Место переплетения этих волокон лежит в расширении шванновской оболочки одного из них; расширение это наполнено своим строением внутреннюю колбу инкапсулированных чувствительных нервных окончаний. В этой внутренней колбе лежит зернистая масса, внутри которой переплетаются упомянутые нервные волокна. Снаружи от внутренней колбы никаких капсул или оболочек нет. Длина этого чувствительного тельца — 20 μ . Почти вплотную к тельцу лежит в одной с ним шванновской оболочке ядро шванновской клетки. Оба мякотных волокна, образующие это окончание, вступают затем в состав одного нервного пучка. Это чувствительное нервное окончание не похоже на инкапсулированные нервные окончания, описанные М. Михайловым (7) в сердце лошади. Последние имеют капсулу и напоминают генитальные тельца Краузе. Описываемое нами тельце похоже более всего на некоторые разновидности телец Гербста, найденные А. С. Догелем (7) в коже клюва гуся и утки.

Наличие сложных и разнообразных чувствительных нервных окончаний в миокарде желудочков позволяет утверждать, что желудочки являются источником разнообразных афферентных импульсов, посылаемых в высшие отделы нервной системы.

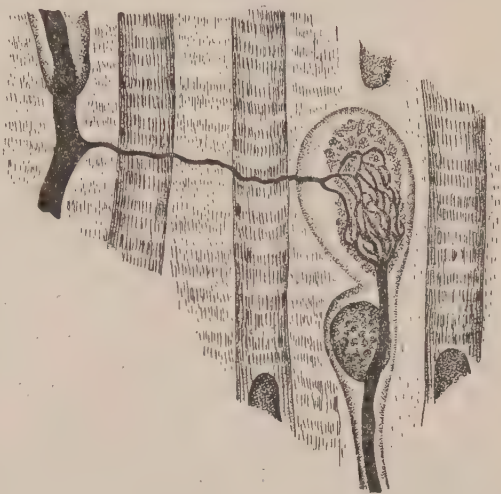


Рис. 2. Чувствительное тельце в миокарде правого желудочка кошки. Бильшовский — Грос. Об. 90 мм., ок. 20

Лаборатория морфологии
Института физиологии им. И. П. Павлова
Академии наук СССР

Поступило
2 I 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. J. Berkley, *Anat. Anz.*, 9, No. 1, 33 (1894). ² Н. J. Berkley, *The Johns Hopkins Hospital Reports, Report in Neurology*, II, 4, No. 4—5, 80 (1894). ³ Е. А. Смирнов, *Неврологич. вестник*, 3, 2, 47 (1895). ⁴ А. В. King, *Bull. John Hopkins Hospital*, 65, No. 6, 489 (1939). ⁵ К. Т. Tcheng, *Cardiologia*, 15, 3—5, 227 (1949—1950). ⁶ Е. К. Плечкова, *Морфология чувствительной иннервации внутренних органов*, 1948, стр. 46. ⁷ М. Михайлов, *Неврологич. вестник*, 19, 1—3 (1912). ⁸ А. С. Догель, *Русск. архив анат., гист. и эмбр.*, 1, 1, 183 (1916).

В. Г. ГРИФ

О ВОЗМОЖНОСТИ ДЕЛЕНИЯ КЛЕТОК У РАСТЕНИЙ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 6 II 1956)

Зимний рост изучается давно, но вопрос о возможности роста при температуре ниже 0° до сих пор остается спорным. Литературные данные о минимальных температурах для роста озимых хлебных злаков очень противоречивы. Большинство авторов (¹⁻⁴) считает, что минимальной температурой для роста, а также для прорастания семян злаков является 0° . Однако некоторые исследователи (^{5, 6}) признают возможным рост при отрицательных температурах. Основанием для таких выводов служат картины деления клеток, наблюдаемые в пробах, взятых при отрицательных температурах. В связи с этим представляет интерес цитологическое изучение процессов роста у озимых злаков при 0° и ниже.

Материалом для исследования послужили сорта озимой пшеницы Боровичская, Украинка и сорт озимой ржи Вятка. Опыты проводились в течение 1952—1954 гг. в лаборатории генетики Пушкинских лабораторий Всесоюзного института растениеводства под руководством Т. Я. Зарубайло.

В литературе имеются указания на возможность того, что при замораживании деление клеток может быть остановлено на любой из фаз митоза (⁷). При изучении фиксированного материала невозможно, конечно, установить когда возникли наблюдаемые на препаратах картины митоза, т. е. до замораживания или в результате деления клеток при отрицательной температуре. Поэтому мы использовали методику, позволяющую определить температуру, при которой останавливается митоз.

Данные предварительного опыта по цитологическому изучению процессов прорастания зерновых озимых злаков показали, что началу деления клеток в зародышах предшествует фаза растяжения клеток. Первый этап прорастания семян, вплоть до прорыва зародышем семенной кожуры и околоплодника, идет за счет этого растяжения клеток. Деление клеток наступает после того, как главный зародышевый корень чуть-чуть выйдет наружу; при этом в разных частях зародыша оно наступает неодновременно. При температуре проращивания около $+20^{\circ}$ деление клеток в корешках зародышей пшениц начинается через 28—32 часа проращивания (в зависимости от сорта и энергии прорастания семян); в листьях — через 41—44 часа; в конусе нарастания — через 46—50 час. У ржи, соответственно, через 28—30; 38—40; 42—44 часа.

Исходя из этих данных, была разработана методика определения температуры, при которой деление клеток прорастающего зародыша не может происходить. Зная момент начала деления клеток в разных частях зародыша при определенных условиях проращивания, можно было дать такие сроки проращивания перед замораживанием, чтобы после первого срока проращивания клетки зародыша были подготовлены к делению, но деление еще не начиналось; более продолжительный срок проращивания брался так, чтобы деление началось лишь в корешках зародышей, и, наконец, последний срок был выбран так, чтобы дать делению клеток начаться во всех ча-

стях зародыша, в том числе и в конусе нарастания. Продолжительность этих сроков проращивания для сортов Украинка и Вятка составляла, соответственно, 28, 41 и 66 час. Для сорта Боровичская, принимая во внимание более медленное его прораствание, эти сроки были несколько увеличены

Таблица 1

Наличие митозов в зародышах семян, замороженных при температуре -2°
(процент зародышей к общему числу исследованных зародышей)

Срок проращивания семян перед замораживанием (в часах)	Сроки фиксации*	С профазами			С метафазами			С анафазами			С телофазами		
		в корешках	в листьях	в конусе нарастания	в корешках	в листьях	в конусе нарастания	в корешках	в листьях	в конусе нарастания	в корешках	в листьях	в конусе нарастания
Пшеница Боровичская													
31	I	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	I	80	40	0	80	0	0	80	0	0	80	0	0
	II	78	10	0	78	0	0	67	0	0	56	0	0
	III	83	17	0	50	0	0	50	0	0	50	0	0
69	I	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
	II	75	80	80	75	80	80	75	80	60	75	80	60
	III	100	100	67	100	100	67	67	67	67	67	67	67
Пшеница Украинка													
28	I	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	III	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	I	89	20	0	89	20	0	78	0	0	67	0	0
	II	90	30	0	90	20	0	80	0	0	70	0	0
	III	78	10	0	67	10	0	56	0	0	44	0	0
66	I	100	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100	80
	II	100	100	100	100	100	100	100	100	77	100	100	69
	III	100	100	100	100	100	60	100	83	40	100	83	40
Рожь Вятка													
28	I	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	I	89	80	0	89	50	0	89	40	0	89	30	0
	II	100	50	0	90	30	0	90	30	0	70	20	0
	III	86	71	0	86	43	0	86	43	0	86	43	0
66	I	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	II	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	III	100	100	100	100	100	86	100	100	86	100	100	86

* I — контроль (перед замораживанием), II — на 28 день замораживания, III — на 77 день замораживания.

и равнялись, соответственно, 31, 46 и 69 час. После окончания сроков проращивания проростки помещались в холодильники с температурами 0°—2°. Одновременно часть проростков фиксировалась в качестве контроля. Семени всех вариантов опыта выдерживались в холодильниках в течение 77 дней. На 28 и 77 день брались пробы, которые фиксировались и обрабатывались по общепринятой цитологической методике приготовления постоянных препаратов. Толщина срезов 8—12 м; препараты окрашивались реактивом Шиффа по Фельгену.

Путем сравнения препаратов из контрольного материала, зафиксированного одновременно с замораживанием, с препаратами из материала, зафиксированного на 28 и 77 день, определялась температура, при которой процессы деления клеток останавливаются.

Используя этот метод, в 1953 и 1954 гг. было проведено изучение митозов при отрицательных температурах. Всего за этот срок было исследовано 3500 препаратов. В среднем, по каждому варианту опыта, исследовалось 10 препаратов, но в ряде случаев были отклонения. Поэтому в таблицах наличие фаз митоза в различных частях зародыша дано в процентах от количества просмотренных препаратов данного варианта.

Исследование препаратов показало, что температурой, при которой еще возможно деление клеток у озимых пшениц и ржи, является 0°. При этой температуре они могут расти, хотя и очень медленно. При медленном снижении температуры как в опыте, так и в полевых условиях происходит затухание митозов, т. е. делящиеся клетки успевают завершить цикл деления, а новые митозы не возникают⁽⁸⁻¹⁰⁾. В результате этого клетки растения с наступлением холодов приходят в состояние покоя. При быстром же заморозании происходит своеобразная «фиксация» ростовых процессов, таких, как деление клеток и их растяжение.

Из данных табл. 1 видно, что при температуре —2° процент зародышей, у которых в разных частях уже началось деление клеток, оставался неизменным на протяжении всего срока замораживания. Так, в первом варианте (проращивание семян перед замораживанием в течение 28 и 31 часа) деление клеток не наблюдалось ни в контрольной фиксации, сделанной одновременно с помещением материала в холодильник, ни в фиксациях, проведенных на 28 и 77 дни, за исключением профаз в некоторых корешках. В контрольном материале второго срока проращивания митозы наблюдались в корешках и листьях всех сортов пшеницы и ржи, причем, если профазы наблюдались почти во всех препаратах, то телофазы — только в некоторых. Аналогичные картины наблюдались и в последующих фиксациях этого варианта, проведенных на 28 и 77 дни. И, наконец, в третьем варианте деление клеток началось во всех частях зародышей, в том числе и в конусе нарастания, где почти во всех препаратах наблюдались прсфазы, телофазы же наблюдались лишь в отдельных препаратах. Это отношение сохранялось на протяжении всего срока замораживания. Из этих данных можно заключить, что при температуре —2° деление клеток ни у пшениц, ни у ржи начаться не может, а идущее деление останавливается, как бы фиксируется этой температурой на весь срок замораживания. То же самое, как оказалось, происходит и с процессами растяжения клеток.

Чтобы убедиться в том, что при быстром снижении температуры до —2° «фиксируются» все митозы, был произведен подсчет числа митозов в поле зрения микроскопа у сортов Украинка и Вятка. Подсчет производился в контрольной фиксации, проведенной одновременно с замораживанием, и в последней фиксации, проведенной в конце срока замораживания при —2°, т. е. через 77 дней. Подсчитывались митозы в различных частях зародыша в поле зрения микроскопа при увеличении 124 × 10 (иммерсия). Подсчет производился на 10 препаратах каждого из вариантов, в пяти центральных срезах каждого препарата. Следовательно, в каждом варианте были подсчитаны митозы в 50 срезах и из них выводилось среднее для поля зрения по данному варианту (см. табл. 2).

Из данных табл. 2 видно, что число митозов остается неизменным на протяжении всего опыта и, следовательно, при температуре — 2° при быстром замораживании «фиксируются» все митозы. Допустить, что при температуре — 2° рост идет с такой же интенсивностью, что и при температуре +20°, при которой производилось проращивание перед замораживанием, невозможно.

Предварительное охлаждение при 0° в течение нескольких дней (в опыте 16 дней) не повышает способности растений расти при отрицательных температурах. В этом случае деление клеток также останавливается на той фазе деления, на которой его застает отрицательная температура.

Т а б л и ц а 2

Влияние температуры — 2° на процесс деления клеток
зародышей пшеницы Украинка и ржи Вятка
(среднее число митозов в поле зрения микроскопа)

Время фиксации	У пшеницы Украинка			У ржи Вятка		
	в кор- нях	в листьях	в конусе нарастания	в кор- нях	в листьях	в конусе нарастания
I. Контроль (перед замо- раживанием)	4,46	5,34	4,78	7,14	6,68	6,01
II. Опыт (на 77 день замора- живания при — 2°)	5,06	5,24	4,82	6,96	6,01	5,88

Деление клеток при быстром замораживании останавливается во всех частях растения и на любой из фаз митоза, т. е. на той фазе, на которой застает его отрицательная температура. Насколько можно судить по нашим данным, все части зародыша по способности к росту при низких температурах однородны. Амитотического деления в меристематических тканях не наблюдалось.

Быстрое замораживание вносит свои изменения в картины различных фаз митозов: происходит спекание хромосом в анафазе, укорачивание хромосом, разрушение нити в поздней профазе, иногда фрагментация ядер и другие изменения, но более подробное изучение их в данной работе не проводилось.

Из отмеченного явления «фиксации» митозов отрицательными температурами следует вывод о том, что судить о росте растений по наличию картин митоза, наблюдаемых в материале, зафиксированном при отрицательной температуре, нельзя, особенно при полевых анализах в осенне-зимний период, так как в тканях растений всегда может оказаться некоторое количество митозов, «зафиксированных» морозом при быстром похолодании. Это может привести к ошибочному выводу о возможности роста даже при очень низких температурах.

Ботанический институт им. В. Л. Комарова
Академии наук СССР

Поступило
6 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. Н. Любименко, Биология растений, 1, 1924. ² Е. Леман, Ф. Айхеле, Физиология прорастания семян злаков, 1936. ³ А. В. Кожевников, Весна и осень в жизни растений, 1950. ⁴ И. М. Васильев, Зимостойкость растений, 1953. ⁵ И. Г. Серебряков, Морфология вегетативных органов высших растений, 1952. ⁶ Ф. М. Куперман, Биологические основы культуры пшеницы, 1950. ⁷ С. В. Викторов, ДАН, 39 № 6, 258 (1943). ⁸ Т. П. Петровская, ДАН, 96, № 1, 213 (1954). ⁹ В. Г. Гриф, Уч. зап. ЛГУ, 33, № 165, 147 (1953). ¹⁰ E. Askenasy, Bot. Zeit., 35, № 50—52, 793 (1877).

Я. С. НЕСТЕРОВ

ПЕРИОД ПОКОЯ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 6 II 1956)

Период покоя плодовых, так же как и других многолетних культур, изучался многими исследователями (¹, ³⁻¹⁰). Л. И. Сергеев (¹) утверждает, что в период покоя «плодовые или цветочные почки древесных растений ежегодно проходят какую-то стадию (период) развития, для которой необходимы пониженные температуры» и что «аналогичные стадии развития имеют листовые и ростовые почки древесных растений».

Однако этот вывод не согласуется с многочисленными фактами преждевременного цветения, когда цветочные почки зацветают в год закладки, не подвергаясь воздействию зимнего холода. Эти факты Сергеев пытается объяснить стадийным старением цветковых почек, вызванным воздействием неблагоприятных условий. С таким объяснением нельзя согласиться, потому что преждевременное цветение вызывается не ухудшением, а, как правило, улучшением условий (²). Тем более нельзя объяснить стадийным старением распускание листовых и ростовых почек в год их закладки.

При хорошей агротехнике молодые деревья плодовых культур, особенно персика и абрикоса, в один вегетационный период могут дать два, три и более порядков ветвления. В таком случае почки, заложенные на побеге текущего года, в этом же году без всякого похолодания прорастают и дают новые побеги. Применяемый в садоводстве агротехнический прием пинцировки основан на том, что путем перераспределения питательных веществ вызывается рост любой нужной почки на побеге текущего года.

И. А. Коломиец (³) считает, что «при соответствующих условиях внешней среды формирование частей цветка в почке и распускание самой почки может проходить менее, чем в 2 месяца; причем они вовсе не нуждаются в прохождении почками зимнего периода покоя». Указанному автору воздействием удобрений и обрыванием листьев удавалось вызвать вторичный рост и цветение без прохождения почками периода зимнего похолодания.

Многие исследователи (¹, ⁴⁻⁸) считают, что изменения, связанные с прохождением периода покоя, локализованы в основном в почках. Однако П. А. Генкель и Е. З. Окнина (¹⁰) наблюдали распускание листовых почек в то время, когда клетки побега находились в состоянии покоя. При помощи микрореакций ими установлены биохимические изменения в тканях растений, связанные с периодом покоя.

С целью изучения влияния условий на период покоя, а также для изучения периода покоя разных частей растения, мы провели в 1954—1955 гг. следующие опыты: в середине октября, до наступления похолодания, были пересажены в ящики растения яблони — Бессемянка мичуринская, Сеянец Требу и Делишес, сливы — Опата, персика — Майкопский крупноплодный, по 9—10 растений каждого сорта. Одна половина ящиков с растениями была оставлена на открытом воздухе, а другая — перенесена в лабораторию, где весь последующий период поддерживалась комнатная температура (15—20°). 25 II все ящики с растениями, остававшиеся на открытом воздухе, были перенесены в ту же комнату, где находилась другая группа растений.

Для изучения периода покоя разных частей растения было проведено наблюдение за ростом растений, подвергшихся и неподвергшихся влиянию похолодания, и сделаны прививки их черенков на разные подвои. Наблюдения за ростом растений, прошедших и не прошедших период покоя, показали, что растения, подвергнутые воздействию холода, при перенесении в условия с комнатной температурой быстро тронулись в рост и в конце марта зацвели. В дальнейшем они росли и развивались так же, как и в естественной обстановке.

У растений, не подвергшихся воздействию холода, цветочные и ростовые почки не распустились или распустились с опозданием на 2—3 мес. В конце января и в феврале у растений яблони, персика и сливы, не подвергшихся влиянию похолодания, появилась корневая поросль, которая быстро росла и к середине мая достигла у сливы 80 см, у персика 31 см и у яблони 21 см. Корневая поросль шла не только от корней, но и от нижней части штамбов, прикрытых землей. Отсюда следует, что корневая система и нижняя часть штамба имеют непродолжительный покой и выходят из него при более высоких температурах.

С целью выявления причины нераспускания почек у растений, не подвергшихся воздействию похолодания, в конце апреля была проведена прививка черенков с этих растений на подвои, прошедшие период покоя. Прививка проводилась в крону молодых и взрослых деревьев, а также в пень 3—15-летних диких яблонь и алычей. За привитыми черенками проводились фенологические наблюдения, а в конце июня был измерен прирост.

Многолетний опыт Майкопской опытной станции и наши наблюдения и опыты показали, что прививка в пень многолетних деревьев значительно ускоряет рост и вступление в плодоношение привитых черенков. При удалении всей кроны подвоя привитые в пень черенки обильно обеспечиваются водой и растворенными в ней питательными веществами за счет работы мощной корневой системы. Рост черенков, не подвергшихся действию похолодания, на разных подвоях показан в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Рост не подвергшихся воздействию похолодания черенков, привитых в пни 8—15-летних деревьев

Культура и сорт	Число привитых черенков	Из них прижились	В том числе				
			Зацвели		Образовали побеги		
			число	среднее число дней от прививки до начала цветения	число	среднее число дней от прививки до образования зелен. конуса	средн. длина прироста, см
Яблоня							
Бессемянка мичуринская . . .	45	40	23	40	38	25	17
Делишес . . .	15	15	2	49	13	28	24
Сеянец Требу .	25	23	—	—	19	33	9
Слива							
Опата	45	23	7	33	19	22	29

Из табл. 1 видно, что черенки, привитые на мощные подвои, при обильном снабжении питательными веществами могут тронуться в рост без предварительного похолодания. Цветение привитых черенков яблони Бессемянка мичуринская и сливы Опата также показывает, что у плодовых культур цветочные почки, не подвергшиеся в течение зимы воздействию холода, не всегда дегенерируют и засыхают и так же, как ростовые почки, при соответствующих условиях могут цвести без предварительного похолодания.

Ряд авторов (⁶, ⁸) считает, что на выход растений из состояния покоя влияют гормонального типа агенты тронувшихся в рост почек.

С целью изучения влияния вегетирующих частей подвоя на привитые черенки, не прошедшие покоя, была проведена прививка на подвой, у которых была срезана крона до начала вегетации полностью и частично. Кроме того, была проведена прививка в крону вегетирующих деревьев. Наблюдения показали, что вегетация привитых черенков, не подвергшихся действию похолодания, зависит не от наличия листового аппарата на подвое, а главным образом от мощности подвоя и от обеспечения привитых черенков питательными веществами, доставляемыми корневой системой подвоя (см. табл. 2).

Таблица 2

Влияние вегетирующих частей кроны на рост привитых черенков яблони и сливы, не подвергшихся действию похолодания

Подвой	Яблоня					Слива				
	число привитых черенков	число тронувшихся в рост	число дней в среднем, от прививки до появления зелен. конуса	средн. прирост в см		число привитых черенков	число тронувшихся в рост	число дней в среднем, от прививки до появления зелен. конуса	средн. прирост в см	
8—15-летние деревья без кроны . . .	53	51	30	17		34	18	24	30,4	
8—15-летние деревья, имеющие половину кроны . . .	32	27	26	15		11	5	29	26	
Крона 8—15-летних деревьев . . .	18	2	—	—		16	—	—	—	
Крона 2-летних деревьев	36	4	53	Розетки листьев		37	2	30	Розетки листьев	

Из данных табл. 2 видно, что рост черенков, не подвергшихся воздействию похолодания, зависит от подвоя. Черенки, привитые в крону вегетирующих молодых и плодоносящих деревьев, почти не трогаются в рост. И только на подвоях, где удалением кроны была резко нарушена корреляция между надземной частью и корневой системой, черенки, не прошедшие покоя, имели высокую приживаемость и хороший рост.

Исходя из этих данных, можно предположить, что цветочные и ростовые почки, не подвергшиеся действию похолодания, не вегетируют по тому, что в период покоя снижена жизнедеятельность, передвижение веществ и обмен во всех надземных частях растения. Об этом свидетельствует медленный рост черенков, подвергшихся влиянию похолодания, на подвоях, не подвергшихся воздействию холода.

Таблица 3

Рост привитых черенков, прошедших период покоя, на разных подвоях

Культура, сорт	Подвой подвергся действию похолодания					Подвой не подвергся действию похолодания				
	число привитых черенков	из них прижилось		прирост привитых черенков в см		число привитых черенков	из них прижилось		прирост привитых черенков	
		число	%	средн.	макс.		число	%	средн.	макс.
Яблоня, Бессемянка мичуринская	24	24	100	3,3	20	25	25	100	Розетки мел.	
Слива, Опата . . .	17	16	94	8,2	18	20	18	90	ких листьев	
Персик, Майкопский крупноплодный	21	8	38	3,8	12	18	14	78	То же	
									0,4	5

Влияние подвоев, подвергшихся и не подвергшихся влиянию похолодания, на рост привитых черенков, прошедших период покоя, показано в табл. 3.

Из этих данных видно, что черенки, подвергшиеся воздействию похолодания, привитые на подвой, не подвергнутый воздействию холода растут очень медленно. У яблони и сливы из листовых почек таких черенков образовались розетки мелких листьев, а у персика—только один из 14 прижившихся черенков дал прирост в 5 см. Черенки с этих же растений, привитые на подвой, подвергшийся воздействию похолодания, дали прирост и листья нормальной величины.



Рис. 1. Характер цветения привитых в крону черенков яблони (а, б) подвоях: прошедшем (а) и не прошедшем (б) период покоя

В наших опытах черенки яблони Бессемянка мичуринская, прошедшие покой, привитые на вегетирующие растения того же сорта, имели в каждом соцветии по 4—5 цветков, в то время как такие же черенки на подвое, не прошедшем периода покоя, имели только 1—2 цветковые соцветия. Это видно на рис. 1, где показан характер цветения привитых в крону черенков яблони на подвоях: прошедшем и не прошедшем период покоя.

Засыхание зачатков цветков у почек, прошедших период покоя, на подвое, находящемся в состоянии покоя, по видимому, объясняется низкой проницаемостью тканей, не подвергшихся действию похолодания, и недостаточным обеспечением растущих зачатков цветков питательными веществами.

Майкопская опытная станция
Всесоюзного института растениеводства

Поступило
18 VIII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. И. Сергеев, Выносливость растений, М., 1953, стр. 33.
- ² В. В. Пашкевич, Сортоизучение и сортоводство плодовых деревьев, М.—Л., 1953.
- ³ И. А. Коломиец, Агробиология, № 2, 38 (1948).
- ⁴ И. М. Васильев, Зимостойкость растений, М., 1953.
- ⁵ Е. С. Мороз, Экспер. ботаника, 6 (1948).
- ⁶ Т. А. Красносельская, А. А. Рихтер, ДАН, 35, № 6 (1942).
- ⁷ К. М. Поплавский, р. Плодоовощн. инст. им. И. В. Мичурина, 7 (1953).
- ⁸ А. А. Рихтер, Т. А. Красносельская, ДАН, 47, № 1 (1945).
- ⁹ И. А. Коломиец, ДАН, 4, № 4, 824 (1952).
- ¹⁰ П. А. Генкель, Е. З. Окнина, Диагностика морозостойкости растений по глубине покоя их тканей и клеток, М., 1954.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОРФОЛОГИЯ

Н. Н. ДАМПЕЛЬ

**РЕГЕНЕРАЦИЯ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ У АМФИБИЙ
(ЛЯГУШКИ) В УСЛОВИЯХ ИНФИЦИРОВАННОЙ РАНЫ**

(Представлено академиком Н. Н. Аничковым 31 XII 1955)

Целью данной работы было проследить на примере лягушки течение и исход регенерации мышечной ткани у амфибий при экспериментальной инфекции раны. В то время как регенерационные процессы у амфибий в условиях асептического воспаления изучены очень подробно (^{8,1,3}), исследований, затрагивающих вопросы восстановления тканей при септическом воспалении, почти нет.

Имеется большая литература, посвященная регенерации тканей в инфицированной ране у млекопитающих животных и человека. Но эти данные нельзя без известной, часто значительной, коррекции переносить на амфибий. Изучение этого вопроса приобретает особый интерес, потому что гнойная раневая инфекция у амфибий течет очень медленно. Это обстоятельство позволяет проследить некоторые закономерности регенерационного процесса, которые ускользают при изучении у млекопитающих.

Для инфицирования раны нами были выделены бактерии от спонтанно зараженной лягушки в виде чистых культур грам-положительных и грам-отрицательных палочек. Были изучены как их биологические свойства, так и морфологические особенности. Они растут на обычных питательных средах при комнатной температуре. Грам-положительная культура состоит из коротких палочек, складывающихся в цепочки или под углом друг к другу; наблюдаются также отдельные, очень длинные палочки. Грам-отрицательная культура состоит из обособленных палочек, не складывающихся в цепочки. Спор ни те, ни другие не образуют. Их систематическое положение, к сожалению, не удалось точно определить, но по ряду свойств грам-отрицательная палочка (более токсичная) близка к *Bact. septicemiae galapagi*.

Опыты по регенерации скелетной мышечной ткани были поставлены на 100 лягушках (*Rana temporaria*) в осенне-зимний период. Животных содержали в отдельных аквариумах с небольшим количеством часто сменяемой воды.

Непосредственным объектом исследования служила портняжная мышца. Операцию проводили на обеих конечностях под эфирным наркозом. После разреза кожи на внутренней стороне бедра ножницами Беккера наносили небольшой разрез в средней части мышцы, после чего кожу зашивали. У 50 лягушек перед зашиванием кожи рану инфицировали одной петлей смеси культур вышеуказанных грам-положительных и грам-отрицательных палочек. Эта микробная взвесь готовилась в физиологическом растворе густотой 2,0 млрд. микробных тел в 1 мг.

Таким образом, мы имели 2 серии опытов: первую, контрольную, включающую 50 животных*, и вторую, состоящую из равного числа животных.

* Эта серия была поставлена совместно с Н. Е. Ковалевой.

у которых травмирование мышцы сопровождалось инфицированием раны. В обеих сериях опытов материал фиксировался жидкостью Васюточкина и ценкер-формолом на 7, 9, 14, 20, 33, 39, 42, 65, 70, 75, 87, 93, 109, 111 и 121 сутки после операции. Парафиновые среды толщиной в 5—8 μ окрашивались гематоксилином, по Караччи, азур II-эозином, по Маллори, и железным гематоксилином по Гейденгайну. Примененные нами бактерии, вызывающие у лягушек гнойное воспаление тканей, размножаются медленно. Большое их количество в тканях мы наблюдали только на 6—7 сутки после повреждения мышцы и заражения.

Процесс распада непосредственно поврежденных мышечных волокон в условиях инфицированной раны морфологически значительно отличается от процессов, происходящих у контрольных животных. В то время как в контроле травмированное мышечное волокно распадается по типу ценкеровского некроза либо на всем своем протяжении, либо частично (в последнем случае остаются жизнеспособные участки, дающие впоследствии мышечный регенерат), у подопытных животных после частичного некроза мышечного волокна в оставшихся неразрушенными мышечных фрагментах под сарколеммой скопляется большое количество бактерий; эти фрагменты разволокняются, светлеют и затем расплавляются в бесструктурную, однородную массу. От ядер остаются только бледные тени, и в конце концов непосредственно поврежденные мышечные волокна превращаются в типичные сарколеммные трубочки, набитые бактериями.

Другая особенность течения деструктивных процессов у подопытных животных состоит в том, что деятельность многочисленных фагоцитов как местного происхождения, так и выселившихся из кровяного русла, заключается в первую очередь в освобождении раневого очага от бактерий. В первые дни (от 7 до 14) после операции в многочисленных фагоцитах видно только огромное количество захваченных бактерий, находящихся на различных стадиях распада, и почти не встречаются формы, содержащие в своей протоплазме частицы разрушенных тканей. После того как в раневом очаге фагоцитировано значительное количество бактерий, начинается процесс резорбции фагоцитами некротизированных тканей. Вследствие этого освобождение раны от продуктов распада тканей и фибрина происходит крайне медленно. Еще на 111 сутки видны процессы резорбции, в то время как у контрольных животных рана очищается к 25 суткам. Наибольшую роль в процессе фагоцитоза играют специальные лейкоциты, которые первыми появляются в очаге воспаления, несколько позже обнаруживаются лимфоциты и макрофаги. На препаратах, окрашенных азур II-эозином, мы наблюдали на 65—70 сутки постепенное превращение специальных лейкоцитов и лимфоцитов в характерные эозинофилы путем накопления ими эозинофильной зернистости.

А. А. Максимов ⁽⁸⁾ описывает у аксолотля особые грубозернистые эозинофильные клетки, которые содержат крупные гранулы разной величины в различном количестве; он считает, что эти клетки развиваются из незернистых лейкоцитов (лимфоцитов, а возможно, и полинуклеаров) путем накопления в них крупной, неравномерной зернистости и которые появляются при воспалительных процессах в значительных количествах, в то время как обычно эозинофилы не принимают участия в воспалении. Процесс превращения фагоцитов в эозинофильные лейкоциты описывают Бекерчер ⁽²⁾ у личинки саламандры в период ее метаморфоза (цитировано по Васюточкину) и А. А. Заварзин ⁽⁶⁾ у рыб (бычка) в местах разрушения мышц в соединительной ткани в случаях поражения паразитами. В наших экспериментах эозинофильные лейкоциты проникают у подопытных животных в поврежденные мышечные волокна; вокруг этих клеток образуются мелкие полости различного очертания. Вследствие наличия большого числа таких полостей многие дегенерирующие мышечные волокна приобретают сетчатый вид (см. рис. 1). Особенно много подобных волокон видно на 70—75 день после операции.

Сходный процесс при разрушении фибрина на серозных оболочках у лягушек и кроликов описывает Д. И. Головин⁽⁴⁾ при экспериментальном фибринозном плеврите. Он называет этот процесс, вызываемый ферментами макрофагов, лакунарным рассасыванием. А. А. Заварзин⁽⁶⁾ у рыб и А. М. Васюточкин⁽²⁾ у головастиков лягушки также наблюдали литические процессы в разрушающихся мышечных волокнах, вызванные ферментативной деятельностью фагоцитов. Своеобразным изменениям подвергаются в раневом очаге эритроциты, излившиеся вместе с кровью при повреждении сосудов во время травмы. Они деформированы, густо окружены бактериями (см. рис. 2). Края эритроцитов становятся неровными, цитоплазма постепенно совершенно растворяется или, в одиночных случаях, остается в виде узкого ободка. Освобожденные ядра округляются и хорошо окрашиваются азур II-эозином в темный цвет. Однако и они постепенно начинают разрушаться путем лизиса.

Сопоставление картин разрушения эритроцитов с накоплением бактерий вокруг них позволяет думать, что лизис эритроцитов зависит от действия токсинов, выделяемых бактериями. На поздних стадиях восстановительного процесса, на 70—111 дни после операции, когда воспалительные явления затягиваются, можно видеть в раневом очаге огромное количество эозинофильных лейкоцитов. Эти клетки также, повидимому, представляют собою измененные специальные лейкоциты и лимфоциты, которые, накапливая эозинофильную зернистость, превращаются в эозинофильные формы. Часть таких клеток гибнет и распадается на отдельные зерна. Почти все распадающиеся клетки густо окружены бактериями. Это свидетельствует в пользу предположения, что разрушение эозинофильных клеток происходит, как и разрушение эритроцитов, под влиянием токсинов, выделяемых бактериями.

Хотя мы специально не исследовали процесс регенерации соединительной ткани в условиях септического воспаления, мы, тем не менее, при изучении регенерации скелетной мышечной ткани смогли сделать ряд наблюдений, свидетельствующих о том, что и развитие соединительной ткани отличается от ее восстановления при асептическом воспалении. В связи с длительно протекающим процессом фагоцитоза и медленной резорбцией некротических масс в области раны грануляционная ткань у подопытных животных развивается на сравнительно поздних сроках регенерационного процесса. В то время как у контрольных лягушек формирование соединительной ткани начинается на 12—14 день после операции, в опыте начальные стадии ее образования мы видели только на 20—25 сутки. Так же как и другие авторы^(1,3-5,9), мы наблюдали, что соединительная ткань имела два источника своего возникновения — гематогенный и гистиогенный. В первый период своего развития (20 сутки после повреждения) соединительная ткань возникает главным образом за счет светлоядерных лимфоцитов, высекающихся на месте ранения из кровеносных сосудов или же из излившейся крови при повреждении сосудов. Эти клетки быстро увеличиваются в размерах, у них появляются отростки, при помощи которых они вступают в синтициальную связь друг с другом. В этот период сосуды еще не образуются и, следовательно, соединительная ткань представлена бессосудистым, гематогенным, фибробластическим синтицием, содержащим фагоциты различного происхождения. Значительно позже, начиная с 39 суток после операции, начинает разрастаться гистиогенная соединительная ткань, основой которой являются капилляры, развивающиеся из сосудов, прилегающих к ране и освободившихся от связи с основным веществом, и гистиогенные фибробласты, которые совместно с сосудами проникают глубоко в область дефекта. Однако процесс образования сосудистой гистиогенной соединительной ткани замедлен, так же как и процесс образования капилляров. Даже на 111 сутки восстановительного процесса гистиогенная соединительная ткань в области раны оказывается мало развитой, большая часть дефекта заполнена бессосудистой соединительной тканью.

Таким образом, у подопытных животных особенности регенерации сое-

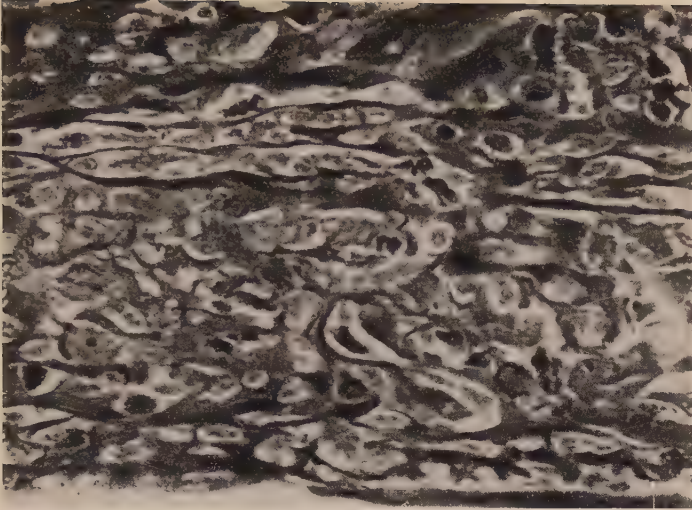


Рис. 1. Опыт, 70 сутки. Нейтрофильные и эозинофильные лейкоциты внутри мышечных волокон; вокруг них полости различных очертаний; мышечное волокно приобретает сетчатую структуру. Фиксация центкером, окраска азур II-эозином. Ок. 10, об. 40

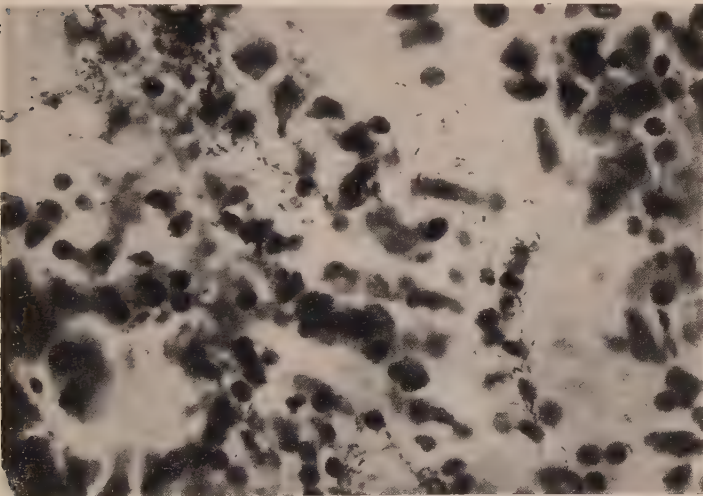


Рис. 2. Опыт, 87 сутки. Измененные эритроциты. Ядра эритроцитов, оставшиеся после разрушения цитоплазмы. Фиксация Бранка, окраска азур II-эозином. Ок. 10, об. имм. 9

динительной ткани по сравнению с контрольными животными сводятся в основном к значительной задержке ее развития и к превалированию гематогенной формы ее образования.

Процессы пролиферации скелетных мышечных волокон у контрольных животных протекали в условиях наших экспериментов по типу миосимпластического образования мышечных волокон. Раневой дефект зарастает мышечным регенератом, представленным главным образом новообразованными, почти полноценными мышечными волокнами с тонкими прослойками соединительной ткани.

У подопытных, животных так же как и в контроле, кроме разрушения непосредственно поврежденных мышечных волокон, происходит частичный некроз прилегающих к ним волокон. В участках таких мышечных волокон, не подвергшихся цинкеровскому некрозу, можно видеть только слабые попытки к регенерации. Иногда на концах поврежденных мышечных волокон, начиная с 80 суток, происходит образование базофильных мышечных почеч, как и в контроле, но они скоро вакуолизируются и постепенно рассасываются. Только в редких случаях одиночные мышечные почки вытягиваются в миосимпласты, которые в своем развитии доходят до стадии мышечных трубочек (109 сутки). Однако они в несколько раз тоньше, чем развивающиеся в контроле, и в дальнейшем не достигают величины и дифференцировки нормальных мышечных волокон (например, не все ядра располагаются под сарколеммой). Изредка наблюдается переход к миобластическому способу регенерации. С концов мышечных фрагментов отделяются миобласты с укороченными необычайной формы отростками и продвигаются в глубину грануляций, но и они быстро гибнут.

Исходом восстановления мышечного дефекта является не образование мышечного регенерата, как в контроле, а заполнение его незрелой рыхлой соединительной тканью.

Первый Ленинградский медицинский институт
им. И. П. Павлова

Поступило
28 X 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. П. Алфеева, Zs. f. micr. Anat. Forsch., 9, 1—2 (1926). ² А. М. Васюточкин, Тр. ВММА, 5, 1 (1945). ³ З. С. Володина, ДАН, 66, № 5 (1949). ⁴ Д. И. Головин, Автореферат диссертации, 1949. ⁵ А. А. Заварзин, Арх. анат., гист., эмбр., 16, 3 (1937). ⁶ А. А. Заварзин, Арх. анат., гист., эмбр., 19, 3 (1938). ⁷ З. И. Крюкова, Арх. анат., гист., эмбр., 19, 3 (1938). ⁸ А. А. Максимова, Ziegel. Beitr., 39 (1906). ⁹ А. Н. Студитский, А. Р. Стриганова, Восстановит. процессы в скелетн. мускулатуре, 1951.

Э. П. КОКОРИНА

**ОСОБЕННОСТИ РЕФЛЕКСА МОЛОКООТДАЧИ У КОРОВ
С РАЗЛИЧНОЙ ПОДВИЖНОСТЬЮ И УРАВНОВЕШЕННОСТЬЮ
КОРКОВЫХ НЕРВНЫХ ПРОЦЕССОВ**

(Представлено академиком К. М. Быковым 5 I 1956)

В течение последних лет рефлекс молокоотдачи подвергался детальному изучению в исследованиях ряда авторов. Большое внимание, в частности, было уделено этому вопросу в лаборатории физиологии сельскохозяйственных животных Института физиологии АН СССР им. И. П. Павлова. Работами (^{1-3, 6, 7, 9}) и др. значительно конкретизированы представления о протекании рефлекса, изучены его афферентные и эфферентные пути, изменения на протяжении лактации, изменения внутривыменного давления, установлена возможность образования условных рефлексов на выделительную деятельность молочной железы.

Целью нашего исследования являлось изучение рефлексов молоко- и жи-роотдачи у коров с различными типологическими особенностями высшей нервной деятельности. Работа проведена в 1953—1955 гг. Поставлено 286 опытов на 9 высокопродуктивных коровах 2—8 лактаций буролатвийской и голландской пород стада Научно-опытной станции Института физиологии им. И. П. Павлова АН СССР.

Опыты проводились во время вечерней дойки. Корове в левый задний сосок вставлялся катетер и выпускалась I порция молока. Через 2 мин. после прекращения струи доярка обмывала вымя, и в ответ на обмывание из катетера выделялась II порция молока. Через 2 мин. после ее окончания выдаивались остальные три четверти вымени, а из катетера вытекала III порция молока. Отмечались латентные периоды и время вытекания порций, количество молока и содержание молочного жира в каждой порции и во всем удое. Определение типологических особенностей основных нервных процессов коров производилось методикой двигательных пищевых условных рефлексов⁽⁸⁾. В результате испытаний животные по уравновешенности нервных процессов были разделены на две группы: I — с преобладанием процесса возбуждения над процессом торможения, II — с уравновешенными корковыми процессами. Сила и подвижность нервных процессов варьировали в широких пределах у коров обеих групп.

Вставление катетера вызывало у большинства коров сначала нарушение обычной молокоотдачи: увеличение III порции за счет I и II; это происходило, повидимому, в результате внешнего торможения, так как это явление постепенно исчезало, причем тем быстрее у отдельных коров чем выше была подвижность их нервных процессов. У коровы Ласточки, обладающей высокой подвижностью нервных процессов, торможения не отмечалось: данные первого опыта не отличались от последующих. У коровы Виры, со средней подвижностью нервных процессов, торможение исчезало после 2 опытов, а у коровы Линзы, с плохой подвижностью, — после 9 опытов.

После исчезновения торможения, связанного с вставлением катетера дояркой справа, т. е. с обычной стороны дойки, было отмечено, что характер распределения молока и молочного жира между отдельными порциями сходен у коров обеих групп, хотя имеются и некоторые отличия (ст. табл. 1).

Анализ данных табл. 1 показывает, что наиболее значителен объем I порции, достигающий в отдельных случаях 95. Жирность и скорость истечения молока очень близки у коров обеих групп. II порция невелика и имеется только у коров I группы, жирность ее близка к жирности III порции. Объем III порции больше, а жирность и латентный период меньше у коров II группы.

Таблица 1

Группы и клички коров	I порция		II порция				III порция*			
	В % от колич. молока из катетериз. соска	Содерж. жира в %	Время истечения 100 мл молока в сек.	Латентный период реакции в сек.	В % от колич. молока из катетериз. соска	Содерж. жира в %	Время истечения 100 мл молока в сек.	Латентный период реакции в сек.	В % от колич. молока из катетериз. соска	Содерж. жира в %
I. Айва	78,4	1,8	30	65	14,5	4,7	49	100	7,1	6,2
Вира	73,5	2,1	27	87	3,3	4,1	94	55	23,2	6,0
Ласточка	82,1	1,8	28	68	7,3	5,3	50	82	10,6	6,5
Шутиха	94,7	2,1	30	отсутствует				117	5,3	6,6
Средн. . . .	82,2	2,0	29	73	6,3	4,7	64	89	11,5	6,3
II. Краля	94,0	2,1	24	отсутствует				74	6,0	6,7
Лилия	54,2	1,5	54	"				87	45,8	3,3
Линза	61,1	1,8	29	"				80	38,9	5,9
Люстра	76,5	2,5	28	"				63	23,5	6,8
Средн. . . .	71,5	2,0	34	отсутствует				76	28,5	5,7

* Время истечения 100 мл молока III порции точно определить оказалось невозможным.

При любом нарушении обычного стереотипа дойки эти соотношения меняются, причем выступают резкие различия в характере отдачи молока и молочного жира у коров с различной уравновешенностью нервных процессов. При вставлении катетера не дояркой, а экспериментатором, или дояркой, но слева, у всех коров уменьшалась I порция молока. При этом коровы I группы отдавали задержанное молоко в ответ на обмывание вымени, а коровы II группы удерживали его до начала дойки. В табл. 2 представлено распределение молока и молочного жира при вставлении катетера экспериментатором слева. При этом у коров I группы I порция оказалась в 2,9 раза больше, чем у коров II группы. Величина II порции одинакова, но у коров I группы латентный период реакции короче, а жирность на 1,9% выше. До начала дойки коровы II группы удерживали в 2,7 раза больше молока, чем коровы I группы.

При сравнении характера отдачи молока и содержания жира при вставлении катетера дояркой и экспериментатором (табл. 1 и 2) оказывается, что в первом случае I порция молока у коров обеих групп была больше и вытекала она быстрее. Объясняется это тем, что само приближение доярки с поддойником есть для коров условный раздражитель, вызывающий рефлекс молокоотдачи. Для подтверждения этого были проведены следующие опыты. Одну из коров, Ласточку, ежедневно стала доить не доярка, а лаборантка, помогающая при опытах. Через 7 дней на вставление катетера лаборанткой и дояркой Ласточка реагировала одинаково. На другой корове, Айве, опыты ставились не 1—2 раза в неделю, а ежедневно. На 5 день (опыт 30 X) Айва сама встала при приближении экспериментатора, тогда как прежде ее всегда приходилось поднимать. Из катетера выделилось 1660 мл молока с жирностью 3,0%, что составило 95,4% всего количества молока, получен-

Таблица 2

Группа и клички коров	I порция			II порция				III порция		
	В % от колич. молока из катетериз. соска	Содерж. жира в %	Время истечения 100 мл молока в сек.	Латентный период реакции в сек.	В % от колич. молока из катетериз. соска	Содерж. жира в %	Время истечения 100 мл молока в сек.	Латентный период реакции в сек.	В % от колич. молока из катетериз. соска	Содерж. жира в %
I. Айва	52,1	2,1	33	71	21,6	5,2	42	76	26,3	5,9
Вира	56,7	2,5	32	60	29,9	5,1	35	65	13,4	7,1
Ласточка	47,4	2,1	41	70	35,8	3,8	41	88	16,8	6,6
Шутиха	58,5	1,2	36	89	13,5	2,0	51	106	28,0	6,1
Средн. . . .	53,7	2,0	36	73	25,2	4,0	40	84	21,1	6,4
II Арфа	25,2	2,0	35	73	26,2	2,4	35	76	48,6	5,8
Краля	23,9	1,7	37	84	13,6	2,0	47	70	62,5	5,2
Лилия	8,3	1,1	38	86	19,0	1,1	33	69	72,7	4,0
Линза	7,2	2,0	45	101	41,8	2,3	27	78	51,0	5,9
Люстра	26,7	2,2	39	84	19,5	2,8	60	72	53,8	5,5
Средн. . . .	18,3	1,8	39	86	24,0	2,1	41	73	57,7	5,3

ного из соска. В ответ на обмывание вымени было получено 40 мл (2,3%) молока с жирностью 7,2% и во время дойки еще 40 мл с такой же жирностью.

Этот факт, подтверждающий несомненность условно-рефлекторного характера отдачи молока, интересен также и в другом отношении. У коровы Айвы обычно жир распределялся между порциями молока следующим образом: I—21,5 г; II—11,6 г; III—24,5 г. В опыте 30 X в I порции выделилось 49,8 г, а во II и III вместе 5,8 г жира. Следовательно, большая часть альвеолярного жира выделилась в результате условно-рефлекторной реакции. Подобное явление неоднократно отмечалось у ряда коров при вставлении катетера дояркой.

Факт этот очень интересен, так как он служит доказательством в пользу наличия условно-рефлекторной регуляции выведения жира из альвеол, между тем как до настоящего времени многие авторы считают, что сокращение миоэпителия альвеол, ведущее к обогащению молока жиром, вызывается только стимулами доения, т. е. безусловно рефлекторным путем. II порция молока (табл. 1 и 2) значительно меньше при вставлении катетера дояркой. Вероятно, это реакция не столько безусловно-рефлекторная, сколько условно-рефлекторная на вид доярки. При вставлении катетера дояркой это молоко выделяется в I порции.

То, что у коров I группы жирность молока II и III порций близка, а в отдельных случаях равна, свидетельствует о том, что обе эти порции получены из альвеолярного отдела вымени. Этот факт, дополняя данные В. Н. Борсук и М. Г. Закса (4), заставляет критически отнестись к их выводу, что в ответ на обмывание вымени выделяется только протоковое молоко, и противопоставляющим этому рефлексу, рефлекс, вызывающий сокращение альвеол.

Объем II порции чрезвычайно лабилен и колеблется под воздействием как внешних, так и внутренних факторов. Так 14 X после обмывания вымени у коровы Линзы на скотном дворе погас свет. Линза реагировала на это уменьшением II порции до 8,5% вместо обычных 41,8%; латентный период реакции удлинился на 37 сек., жирность II и III порций понизилась, количество жира уменьшилось на 12,0%.

При введении коровам кофеина в дозах, вызывающих запредельное торможение условных рефлексов, отмечалось уменьшение II порции молока вплоть до полного ее исчезновения.

При вставлении катетера дояркой (табл. 1) порция молока, получаемая в течение дойки остальных сосков, невелика: 11,5—28,5%, т. е. при обычной дойке все коровы большую часть молока отдают условно-рефлекторным путем. При нарушении обычных условий дойки (табл. 2) коровы I группы удерживают до начала дойки также мало молока: 13,4—28,0%, в среднем 21,1%. Коровы II группы удерживают 48,6—72,7%, а в среднем 57,7%.

Очевидно, в результате постоянной тренировки — повседневного повторения определенного комплекса раздражителей, связанных с процессом дойки, — у коров возникают стойкие условные рефлексы молоко- и жиротдачи. Для получения рефлексов достаточно доярке с подойником в руках подойти к корове в обычное время дойки. Любое нарушение обычного стереотипа раздражителей: изменение места, времени, очередности дойки, подходить к корове с другой стороны, перемена доярки вызывает торможение рефлексов. Эти данные хорошо согласуются с данными других авторов (^{5,10,9,7}) с наблюдениями животноводов-практиков. Отсюда ясно, как важно для получения максимальной молочной продуктивности сохранять постоянно условия во время дойки.

Различная реакция коров на изменение обычных условий дойки не определяется различием в их породе, возрасте, времени лактации, величине молока или содержании молочного жира. Отмечена связь характера рефлекса молокоотдачи с подвижностью и уравновешенностью основных нервных процессов коров. У коров с уравновешенными корковыми процессами при одинаковых воздействиях торможение рефлексов молоко- и жиротдачи меньше и длительнее, чем у коров с преобладанием процесса возбуждения над торможением.

Способность удерживать в протоках и альвеолах вымени большое количество молока до начала дойки характерна для коров с уравновешенными корковыми процессами. У коров с хорошей подвижностью нервных процессов при одинаковых воздействиях торможение рефлексов молоко- и жиротдачи меньше и проходит быстрее, чем у коров с плохой подвижностью нервных процессов. Этим в значительной мере может быть объяснена разница в величине суточных колебаний молока и молочного жира отдельных коров.

Соотношение величин I и III порций молока определяется типологическими особенностями высшей нервной деятельности и условиями опыта. Рефлекс молокоотдачи, по видимому, можно использовать при определении типологических особенностей нервной деятельности коров.

Институт физиологии им. И. П. Павлова
Академии наук СССР

Поступило
30 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. А. Барышников, М. Г. Закс и др., Журн. общ. биол., 12, № 6 (1951).
² И. А. Барышников, В. Н. Борсук, М. Г. Закс, Журн. общ. биол., 14, № 4 (1953). ³ В. Н. Борсук, Второе Совещ. по физиол. с.-х. животных, Тез. докл., М.—Л., 1955. ⁴ В. Н. Борсук, М. Г. Закс, Тр. Инст. физиол. им. И. П. Павлова АН СССР, 4 (1955). ⁵ Л. Н. Воскресенский, Русск. физиол. журн., 1, в. I; (1917). ⁶ М. А. Гофман, Тр. Инст. физиол. им. И. П. Павлова АН СССР, 4 (1955). ⁷ И. И. Грачев, Журн. общ. биол., 14, № 5 (1953). ⁸ Э. П. Кокорин, Тр. Инст. физиол. им. И. П. Павлова АН СССР, 4 (1955). ⁹ А. А. Сюсюкин, Второе Совещ. по физиол. с.-х. животных, Тез. докл., М.—Л., 1955. ¹⁰ Г. А. Таненко, Докл. ВАСХНИЛ, 3 (1941).

Н. А. МОИСЕЕВА

К ХАРАКТЕРИСТИКЕ ИНТЕРОЦЕПТИВНЫХ РЕФЛЕКСОВ В ОНТОГЕНЕЗЕ

(Представлено академиком К. М. Быковым 31 XII 1955)

В многочисленных работах доказано наличие рецепторов во всех органах и тканях организма, изучены свойства и взаимосвязь как безусловной, так и условнорефлекторной интероцепции многих внутренних органов^(1,2,8). Исследования рецепции внутренних органов производились главным образом на взрослых животных. В то же время с полной очевидностью выступает необходимость изучения возникновения и характера интероцептивных сигналов в эмбриональный и ранний постнатальный периоды развития организма.

В нашей предыдущей работе⁽⁶⁾ было показано влияние интероцептивных импульсов на течение экстероцептивных рефлексов в различные периоды эмбрионального развития кроликов. Выяснилось, что начиная с 25–26 дня эмбриональной жизни раздражение рецепторов желудка и прямой кишки вызывает двигательную реакцию эмбриона и изменяет течение экстероцептивных рефлексов. Безусловная интероцептивная сигнализация и влияние ее на экстероцептивную усиливаются по мере приближения момента рождения. Эта работа поставила на очередь изучение интероцептивных рефлексов в различные периоды постнатального развития животного. Эксперименты проведены в условиях острого опыта на 40 щенках различного возраста (от 1 дня до 7 мес.). Опыты производились под эфирным наркозом. Регистрировалось кровяное давление в а. carotis и дыхание.

Для растяжения желудка в него вводился тонкостенный резиновый баллончик, а в мочевой пузырь — канюля, после чего производилось механическое раздражение (растяжение) слизистой желудка и мочевого пузыря. Воздух, поступающий в баллончик в желудок и через канюлю в мочевой пузырь, дозировался аппаратом «пневмоторакс».

При раздражении механорецепторов желудка у щенков с 1 до 15–16 дней кровяное давление всегда, без всяких исключений, повышалось. Так у 2-дневного щенка раздувание желудка 50 см³ воздуха вызвало резкое (на 20 мм рт. ст.) повышение кровяного давления (рис. 1а). У 10-дневного щенка при раздражении механорецепторов желудка также наблюдается прессорный эффект (рис. 1б).

Начиная с 15–16 дня раздувание желудка вызывает, как правило, двойное изменение кровяного давления; в начале раздражения — прессорный эффект, а затем — депрессорный. На рис. 1в представлена кимограмма опыта на 16-дневном щенке. При раздражении желудка кровяное давление с латентным периодом, равным долям секунды, увеличивается на 10 мм рт. ст., опускаясь, однако, через несколько секунд на 20 мм ниже исходного уровня. В этот период постнатального развития (с 15–16 до 18–20 дней) раздражение механорецепторов желудка вызывает двухфазное изменение кровяного давления и всегда наблюдается вначале повышение, а затем понижение кровяного давления.

Начиная с 18—20 дня постнатальной жизни животного при раздражении рецепторов желудка наблюдается депрессорный эффект. На рис. 2 а представлена кимограмма опыта на месячном щенке. При раздувании желудка 80 см^3 воздуха кровяное давление резко (на 15 мм рт. ст.) падает и изменяется дыхание. Понижение кровяного давления в ответ на раздражение механорецепторов желудка отмечается до 45—47 дня. Начиная с 45—47 дня до 60—62 в ответ на раздражение рецепторов желудка наблюдается двухфазное изменение кровяного давления. Но в отличие от эффекта у 15—

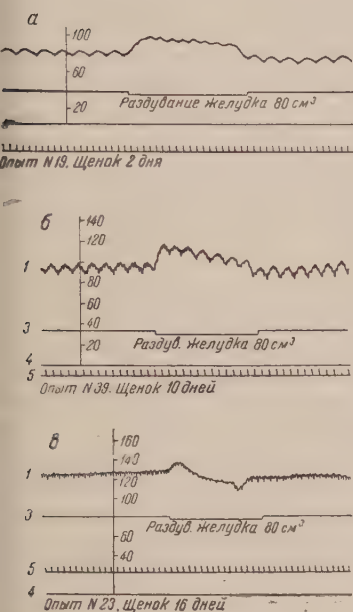


Рис. 1

с. 1. Повышение кровяного давления при раздражении желудка 2-дневного (а) и 10-дневного (б) щенков. Двухфазное изменение кровяного давления при раздражении желудка 30-дневного щенка (в). Обозначения здесь и на следующих рисунках: 1—кровяное давление, 2—дыхание, 3—отметка раздражения, 4—нулевая линия, 5—отметка времени, секунды

с. 2. Понижение кровяного давления при раздражении желудка 30-дневного щенка (а). Двухфазное изменение кровяного давления при раздражении желудка 49-дневного щенка (б). Повышение кровяного давления при раздражении желудка 62-дневного щенка (в)

4-дневных щенков, в этот период имеет место вначале понижение кровяного давления, а затем повышение. При раздувании желудка 40-дневного щенка 129 см^3 воздуха кровяное давление в первый момент падает на 15 мм рт. ст., а затем повышается на 10 мм по сравнению с исходной величиной. Одновременно с этим уменьшается, а затем увеличивается амплитуда дыхательных движений (рис. 2б).

У животных в возрасте от 60—62 дней и выше раздражение механорецепторов желудка вызывает только повышение кровяного давления. Представленная на рис. 2 в кимограмма демонстрирует повышение кровяного давления двойной волной при раздражении желудка 62-дневного щенка 80 см^3 воздуха. В момент нанесения раздражения наблюдается уменьшение амплитуды дыхательных движений.

Таким образом, раздражение механорецепторов желудка в различные периоды постнатального развития вызывает неодинаковый эффект на кровяное давление. У новорожденных щенков до 15—16 дней при раздра-

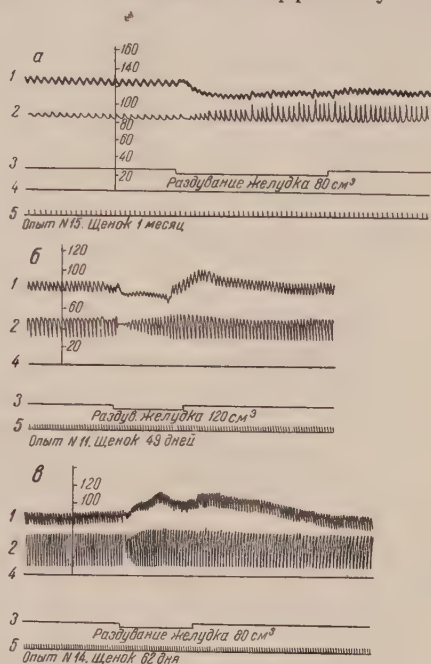


Рис. 2

жении желудка наблюдается прессорный эффект; с 15—16 до 18—20 дне кровяное давление изменяется двухфазно — сначала повышение, затем понижение; с 18—20 до 45—47 дней кровяное давление в ответ на раздражение рецепторов желудка всегда понижается с 45 до 60—62 дней происходит двухфазное изменение — сначала понижение, затем повышение и, наконец, начиная с 60—62 дня раздражение механорецепторов желудка вызывает только повышение кровяного давления (рис. 2 в). Двухфазные изменения в период с 15 по 20 день и с 45 по 50 день являются как бы переходными периодами от одного состояния интероцепторов к другому. Интересно, что период 15—16 дня соответствует прозреванию щенков и, следовательно, можно полагать, что начало деятельности зрительного анализатора сразу же отражается на функциональном состоянии аппаратов интероцепции. Момент 45 дня соответствует, обычно, переходу от питания материнским молоком к разнообразной пище. Эти два периода и в наших опытах являются переходными от прессорной реакции (до 15—16 дня) к депрессорной (20—45 дней) и от депрессорной вновь к прессорной (начиная с 2 мес.).

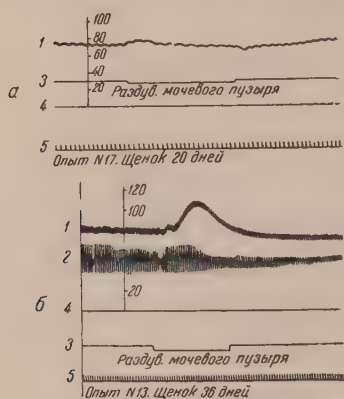


Рис. 3. Повышение кровяного давления при раздражении мочевого пузыря у 20-дневного (а) и 36-дневного (б) щенков

мочевого пузыря у щенков в возрасте до 2 недель объясняется их отсутствием (морфологически) рецепторов в стенке мочевого пузыря, и тем, что в этот период жизни животного рецепторы еще не функционируют. Эти наши данные согласуются с исследованиями чехословацких физиологов О. Колдовский, Я. Кржечек, Я. Кржечкова и И. Микулаш (4), показавших, что у щенков до 2-недельного возраста, т. е. до прозревания животного, мочевой пузырь самостоятельно не функционирует.

Фазность и деятельность рецепторов кровеносных сосудов кишечника в разные периоды постнатального развития наблюдала Л. Е. Пальгова (7). Автор показал, что у щенков до 14 дня жизни в ответ на повышение внутрисосудистого давления перфузионной жидкости в сосудах тонкой кишки кровяное давление в а. carotis повышается, а с 15 дня понижается. Е. М. Кобакова (3), изучая возникновение двигательной деятельности тонкого кишечника у щенков в различные периоды постнатального развития, отметил разный характер этой деятельности. В первые 2 недели жизни сокращения тонкого кишечника носят хаотический характер, а с 2—3-недельного возраста движения упорядочиваются и становятся такими же, как у взрослых животных. Е. И. Комаров (5), исследуя рефлекс с механорецепторов различных участков кишечника и мочевого пузыря у щенят и котят, отметил их разнообразность, но не заметил никаких резких изменений в характере рефлексов в момент прозревания животных.

Исходя из наших экспериментальных данных, можно прийти к заключению, что в деятельности интероцепторов, в частности интероцепторов желудка и мочевого пузыря, в ранние периоды постнатального развития животного наблюдается фазность, выявляемая на кровяном давлении. Переходными периодами от одной формы рефлекторного ответа к другой яв-

ются периоды прозревания щенка в момент перехода от питания материн-
ским молоком к разнообразной пище.

Лаборатория интероцептивных условных рефлексов
Института физиологии им. И. П. Павлова
Академии наук СССР

Поступило
15 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Э. Ш. Айрапетьянц, Высшая нервная деятельность и рецепторы внутрен-
них органов, Изд. АН СССР, 1952. ² К. М. Быков, Кора головного мозга и внутренние
органы, Медгиз, 1947. ³ Е. М. Кобакова, Автореферат диссертации, Л., 1952.
O. Koldovský, J. Křeček, J. Křepčková, I. Mikulas, Чехословацкая фи-
зиология, 2, № 4 (1953). ⁵ Е. И. Комаров, Бюлл. эксп. биол. и мед., 36, 2, №№ 8, 9,
(1953). ⁶ Н. А. Моисеева, ДАН, 87, № 2 (1952). ⁷ Л. Е. Пальгова,
Бюлл. эксп. биол. и мед., 33, I, № 1 (1952). ⁸ В. Н. Черниговский, Аfferент-
ные системы внутренних органов, Л., 1943.

Ю. М. ОЛЕНОВ и М. Г. ЗАКС

О РОЛИ УСЛОВНО-РЕФЛЕКТОРНЫХ СТИМУЛОВ В АКТЕ МОЛОКООТДАЧИ У КОРОВ

(Представлено академиком Л. А. Орбели 29 XII 1955)

Установлено, что различные искусственные раздражители, а также обстановка, в которой происходит дойка коровы (¹⁻⁷), при последовательных сочетаниях с безусловными раздражителями молокоотдачи, приобретают сигнальное значение и способны при изолированном применении стимулировать различные стороны этого сложного акта. Известно также, что нарушения привычного для животного стереотипа доения могут резко снижать эффективность молокоотдачи, если даже ее безусловные раздражители, т. е. техника доения, остаются неизменными. Но совершенно не изучено, в какой степени будут влиять, при наличии упроченных положительных условных связей, те или иные изменения безусловных раздражителей молокоотдачи. Выяснение этого позволило бы уточнить наши представления о значении условных и безусловных раздражителей в акте молокоотдачи.

Наши опыты проводились в учебном хозяйстве средней сельскохозяйственной школы и на ферме «Вилга» совхоза им. Зайцева (г. Петрозаводск) на трех группах коров по следующей схеме. Предварительно изучались все элементы работы каждой доярки путем детального хронометража, и учитывались удои и содержание жира в молоке. Затем при неизменном стереотипе подготовки к доению внезапно вводились те или иные изменения в технику выдаивания, и результат сопоставлялся с соответствующими показателями за те же дойки в предыдущий, контрольный день. Рационы кормления на протяжении опыта оставались неизменными.

Г серия была проведена на группе 5 коров (учебное хозяйство). Доярка Р. доит в хорошем темпе (около 100 сжатий сосков в минуту), кулаком; порядок выдаивания четвертей — прямой, т. е. сначала обе передние затем обе задние четверти вымени. Эта техника создает оптимальные условия для выдаивания молока.

В различные опытные дни, не отступая от приемов обычной подготовки доярка Р. вводила по заданию определенные изменения в свою обычную технику: а) замедление темпа дойки — вместо ста 60 сжатий сосков в минуту; б) вместо дойки кулаком — дойка «щипком», пальцами; в) вместо правильного «прямого» метода — поочередное выдаивание каждой четверти. Такие ухудшения условий вводились в отдельные опытные дни порознь или одновременно.

Как видно из табл. 1, даже столь значительные нарушения техники дойки, как снижение темпа или поочередная дойка отдельных четвертей вымени, не снизили общего выхода молочного жира. И только одновременное применение обоих этих приемов в сочетании с дойкой пальцами привели к некоторому снижению выхода жира. При этом из 5 коров три вообще не реагировали на ухудшение техники доения. Чем же объяснить такой результат?

Начиная с 1-го отела все подопытные коровы находились в ведении доярки Р.; все эти коровы, за исключением одной, имели более трех отелов. Возникло предположение, что сохранение полной эффективности молока

дачи при внезапном ухудшении техники доения обеспечивалось за счет условно-рефлекторных компонентов реакции; за годы работы доярки Р. этими коровами временные связи успели укрепиться весьма прочно, чему способствовала не только многократность сочетаний, но и в еще большей степени полноценность, сила подкреплений.

Таблица 1

Влияние изменений безусловных раздражителей на эффективность молокоотдачи (группа доярки Р.; данные для дневной дойки, в среднем на одну корову)

	Контрольные дни			Опытные дни		
	1	2	3	1*	2**	3***
Средн. удой в л	3,14	3,05	3,09	3,27	2,98	3,18
Средн. % жира	3,54	3,85	4,05	3,53	4,17	3,59
Средн. выход молочного жира в г	111,4	117,6	125,3	115,5	124,3	114,4
Средн. выход молочного жира в % к выходу в контрольные дни	100,0	100,0	100,0	103,7	105,5	91,3

* Частота раздражений — 60 в минуту. ** Поочередное выдаивание каждой четверти вымени. *** Оба эти приема одновременно и, кроме того, дойка „щипком“.

II серия. Для проверки предположения о значении силы подкреплений были поставлены аналогичные опыты на 3 коровах из группы доярки I., которая также обслуживала коров своей группы в течение ряда лет. Техника дойки ее значительно хуже, чем у доярки Р.; темп — только 80 сжатий в минуту, дойка не кулаком, а пальцами, выдаивает сперва задние четверти, а затем, спустя 1—2 минуты, переходит к передним. Все это давало нам возможность изучать влияние не только «ухудшения», но и «улучшения» безусловных раздражителей молокоотдачи. Результаты опытов отражены в табл. 2.

Из данных табл. 2 видно, что экстренное введение оптимальной техники у коров доярки П. оказалось весьма эффективным и повысило выход молочного жира на 14,2%. Но ухудшение техники дойки, в отличие от опытов I серии, отразилось на ее результатах весьма существенно: выход жира снизился на 18,3%. Поскольку различия между обычной техникой доярки П. и пессимальным комплексом, задаваемым в эксперименте, были не столь велики, как у доярки Р., результат можно объяснить, вероятно, именно тем, что в связи со слабостью постоянных безусловно-рефлекторных воздействий условно-рефлекторный компонент молокоотдачи создавался у этих коров при более слабом, менее адекватном подкреплении и потому оказался менее эффективным.

Таблица 2

Влияние изменений безусловных раздражителей на эффективность молокоотдачи (группа доярки П.)

	Контрольные дни		Опытные дни	
	1	2	1*	2**
Средн. удой в л	3,04	3,08	3,15	2,93
Средн. % жира	3,44	3,69	3,80	3,18
Средн. выход молочного жира в г	104,9	113,0	119,7	93,2
Средн. выход молочного жира в % к выходу в контрольные дни	100,0	100,0	114,2	81,7

* Оптимальная техника доения; ** 60 сжатий сосков в 1 мин., пальцами, каждая четверть поочередно.

III серия. Для проверки предположения об особом значении хороших упроченных временных связей в акте молокоотдачи были поставлены опыты в другом хозяйстве на 7 коровах-первотелках, недавно поступивших с фермы и ранее вообще не служивших объектом физиологических экспериментов. Обслуживала их доярка Т., получившая группу за 1 мес. до начала наших опытов. Качество работы доярки Т. высокое. Она доит кулаком темп — 100—120 сжатий сосков в минуту, порядок выдаивания — прямой. Таким образом, различия между группой III серии и группой I серии опытов сводятся в основном к тому, что у коров доярки Т. еще не могли образоваться столь упроченные временные связи на дойку. Результаты пессимальной дойки коров группы III серии показаны в табл. 3. Итак, внезапное

Таблица 3

Влияние изменений качества безусловных раздражителей на эффективность молокоотдачи (группа доярки Т.)

Показатели	Контрольный день	Опытный день*
Средн. удой в л.	2,78	2,36
Средн. % жира	4,11	3,95
Средн. выход молочного жира в г	114,2	93,3
Выход молочного жира в % к выходу в контрольный день	100,0	81,4

* Дойка пальцами, 60 сжатий в 1 минуту, поочередное выдаивание четвертей.

дуальные различия эффекта применения пессимальной дойки у отдельных коров данной группы: у одной из них снижения выхода жира не наблюдалось вовсе, а у другой оно составило 29% к контрольному дню.

В целом полученные данные свидетельствуют об огромном значении комплекса условных раздражителей, связанных с дойкой. При достаточно прочности условных связей последние могут поддерживать эффективность молокоотдачи и при внезапном изменении качества безусловных раздражителей*. Этим самым подчеркивается все значение пунктуального единообразия в обстановке дойки.

Вместе с тем, данные II серии опытов выявляют все значение правильной техники доения: высокая эффективность условных раздражителей молокоотдачи создается только при длительном и систематическом сочетании их с достаточно сильными и адекватными безусловными раздражителями.

Институт биологии
Карело-финского филиала Академии наук СССР

Поступило
22 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. Н. Воскресенский, Тр. бюро по зоотехнике, 11 (1916). ² Л. Н. Воскресенский, Сборн., посвященный 75-летию акад. И. П. Павлова, 1924. ³ И. И. Грачев, ДАН, 78, № 2 (1951). ⁴ И. И. Грачев, Журн. общей биологии, 11, № 333 (1953). ⁵ В. Н. Борсук, Второе совещ. по физиологии сельскохозяйственных животных, Тез. докл., 9, 1955. ⁶ М. Г. Закс, Тр. Инст. физиологии им. И. П. Павлова, 4, 34, 1955. ⁷ А. А. Сюсюкин, Второе совещ. по физиологии сельскохозяйственных животных Тез. докл., 57, 1955.

* Нет сомнения, что систематическое ухудшение техники доения повело бы, как показывают многочисленные зоотехнические работы, к снижению показателей. Однако мы не имели возможности подтвердить это на своем экспериментальном материале, так как, работая в производственных условиях, мы не могли идти на заведомое снижение продуктивности.